Fisheries and Oceans Canada | Pêches et Océans Canada
Science | Sciences

CSAS | **SCCS**

Canadian Science Advisory Secretariat | **Secrétariat canadien de consultation scientifique**

Proceedings Series 2011/015 | **Compte rendu 2011/015**

Region National Capital Region | **Région de la Capitale Nationale**

National Science Advisory Workshop on Potential Technologies for Closed-containment Saltwater Salmon Aquaculture

January 29-31, 2008
IOS, Sidney, BC, Canada

Meeting Chairperson
Michael Chadwick

Atelier national de consultation scientifique sur les techniques potentielles de salmoniculture en parcs clos en eau de mer

Du 29 au 31 janvier 2008
ISM, Sidney (C.-B.), Canada

Président de réunion
Michael Chadwick

Fisheries and Oceans Canada / Pêches et Océans Canada
200 Kent Street / 200, rue Kent Street
Ottawa, ON K1A 0E6

January 2012 | **Janvier 2012**

Canada

Foreword

The purpose of these Proceedings is to document the activities and key discussions of the meeting. The Proceedings include research recommendations, uncertainties, and the rationale for decisions made by the meeting. Proceedings also document when data, analyses or interpretations were reviewed and rejected on scientific grounds, including the reason(s) for rejection. As such, interpretations and opinions presented in this report individually may be factually incorrect or misleading, but are included to record as faithfully as possible what was considered at the meeting. No statements are to be taken as reflecting the conclusions of the meeting unless they are clearly identified as such. Moreover, further review may result in a change of conclusions where additional information was identified as relevant to the topics being considered, but not available in the timeframe of the meeting. In the rare case when there are formal dissenting views, these are also archived as Annexes to the Proceedings.

Avant-propos

Le présent compte rendu a pour but de documenter les principales activités et discussions qui ont eu lieu au cours de la réunion. Il contient des recommandations sur les recherches à effectuer, traite des incertitudes et expose les motifs ayant mené à la prise de décisions pendant la réunion. En outre, il fait état de données, d'analyses ou d'interprétations passées en revue et rejetées pour des raisons scientifiques, en donnant la raison du rejet. Bien que les interprétations et les opinions contenues dans le présent rapport puissent être inexactes ou propres à induire en erreur, elles sont quand même reproduites aussi fidèlement que possible afin de refléter les échanges tenus au cours de la réunion. Ainsi, aucune partie de ce rapport ne doit être considérée en tant que reflet des conclusions de la réunion, à moins d'indication précise en ce sens. De plus, un examen ultérieur de la question pourrait entraîner des changements aux conclusions, notamment si l'information supplémentaire pertinente, non disponible au moment de la réunion, est fournie par la suite. Finalement, dans les rares cas où des opinions divergentes sont exprimées officiellement, celles-ci sont également consignées dans les annexes du compte rendu.

Proceedings Series 2011/015

National Capital Region

Compte rendu 2011/015

Région de la Capitale Nationale

National Science Advisory Workshop on Potential Technologies for Closed-containment Saltwater Salmon Aquaculture

January 29-31, 2008
IOS, Sidney, BC, Canada

Meeting Chairperson
Michael Chadwick

Atelier national de consultation scientifique sur les techniques potentielles de salmoniculture en parcs clos en eau de mer

Du 29 au 31 janvier 2008
ISM, Sidney (C.-B.), Canada

Président de réunion
Michael Chadwick

Fisheries and Oceans Canada / Pêches et Océans Canada
200 Kent Street / 200, rue Kent Street
Ottawa, ON K1A 0E6

January 2012

Janvier 2012

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2012
© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2012

ISSN 1701-1272 (Printed / Imprimé)
ISSN 1701-1280 (Online / En ligne)

Published and available free from:
Une publication gratuite de :

Fisheries and Oceans Canada / Pêches et Océans Canada
Canadian Science Advisory Secretariat / Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent Street
Ottawa, Ontario
K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

CSAS-SCCS@DFO-MPO.GC.CA

Correct citation for this publication:
On doit citer cette publication comme suit :

DFO. 2012. National Science Advisory Workshop on Potential Technologies for Closed-containment Saltwater Salmon Aquaculture; January 29-31, 2008. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2011/015.

MPO. 2012. Atelier national de consultation scientifique sur les techniques potentielles de salmoniculture en parcs clos en eau de mer ; du 29 au 31 janvier 2008. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Compte rendu 2011/015.

SUMMARY

The purpose of the workshop was to enable a technical and scientific review on the current knowledge of closed containment aquaculture systems and to provide scientific advice on the feasibility of saltwater closed-containment technologies for salmon aquaculture. Closed-containment can be defined as a barrier technology that attempts to restrict and control interactions between farmed fish and the external environment. The goal of closed-containment technology is to minimize environmental impacts and create greater control over factors beneficial to aquaculture production. Five working papers were developed to examine the viability of closed containment technology from a biological, technical, engineering, and fish health and welfare perspectives. A sixth working paper integrated the five papers to develop a model farm.

SOMMAIRE

Cet atelier visait à permettre une revue technique et scientifique des connaissances actuelles des systèmes de salmoniculture en parcs clos ainsi que de fournir des conseils de nature scientifique sur la faisabilité des technologies de salmoniculture en parcs clos en eau de mer. Un parc clos est une barrière qui tente de restreindre et de contrôler les interactions entre les poissons d'élevage et l'environnement externe. Cette technologie a pour but de réduire au minimum les répercussions environnementales et de mieux contrôler les facteurs bénéfiques pour une production aquacole. Cinq documents de travail ont été conçus pour évaluer l'efficacité de la technologie de parc clos du point de vue biologique, technique, de l'ingénierie ainsi que de la santé et du bien-être des poissons. Un sixième document de travail a intégré ces cinq documents pour mettre au point un modèle d'élevage.

INTRODUCTION

In June 2007, DFO Science assembled a Steering Committee (Appendix 1) made up of federal and provincial government representatives, key stakeholders and First Nations to develop the Terms of Reference (ToR) (Appendix 2) on potential technologies for closed-containment saltwater salmon aquaculture. Six research papers were identified to meet the objectives of the ToR along with independent scientific experts to prepare each of the papers. The first paper examined the viability of closed-containment technology based on a review of past experience. The next four papers examined the technology from biological, engineering and fish health perspectives and provided an evaluation of unit processes required to maintain water quality for optimal growth and health of fish. The sixth paper integrated the concepts and information from the other papers to assess the potential performance of ten closed-containment configurations to grow salmon with varying degrees of confinement and waste removal with the objective of developing a model closed-containment farm. The list of participants and agenda are in appendices 3 and 4.

The six papers have been published in Chadwick, E.M.P., G.J. Parsons and B. Sayavong (editors) 2010. Evaluation of Closed-containment Technologies for Saltwater Salmon Aquaculture. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada 160pp.

1. Review of Past Experience

Author: John Forster
Rapporteur: Boumy Sayavong

ABSTRACT

Information on current and failed land-based flow-through systems, floating flow-through systems, and Recirculating Aquaculture Systems (RAS) was collected and summarized in 42 Case Notes. Of those

INTRODUCTION

En juin 2007, le Secteur des sciences du MPO a mis sur pied un comité directeur (Annexe 1) constitué d'agents des gouvernements fédéral et provinciaux, d'intervenants clés et de membres des Premières Nations afin de mettre au point les cadres de référence (Annexe 2) sur les technologies potentielles de salmoniculture en parcs clos en eau de mer. Six documents de recherche, préparés par des experts scientifiques indépendants, ont été établis pour atteindre les objectifs précisés dans le cadre de référence. Le premier document a examiné la viabilité de la technologie de parcs clos selon l'expérience. Les quatre autres documents ont évalué la technologie d'un point de vue biologique, de l'ingénierie et de la santé des poissons et ont évalué les processus nécessaires pour maintenir la qualité de l'eau de façon à permettre une croissance et une santé optimales des poissons. Le sixième document a intégré les concepts et l'information des autres documents pour évaluer le rendement potentiel de dix systèmes de parcs clos de salmoniculture de divers degrés de confinement et d'élimination des déchets, afin de mettre au point un modèle d'élevage en parcs clos. La liste des participants et l'échéancier sont présentés aux annexes 3 et 4.

Les six documents ont été publiés dans Chadwick, E.M.P., G.J. Parsons and B. Sayavong (rédacteurs) 2010. Evaluation of Closed-containment Technologies for Saltwater Salmon Aquaculture. NRC Research Press, Ottawa (Ontario), Canada 160 p.

1. Examen des expériences passées

Auteur : John Forster
Rapporteur : Boumy Sayavong

RÉSUMÉ

L'information sur les systèmes terrestres à circulation d'eau continue, les systèmes flottants à circulation d'eau continue et les systèmes aquacoles à recirculation actuels et ceux qui se sont révélés inefficaces a été

operating, none produce Atlantic salmon exclusively, though the various technologies may have application in future closed-containment farms for salmon.

recueillie et résumée dans 42 notes de cas. Parmi ceux qui ont été efficaces, aucun ne produisait exclusivement des saumons atlantiques, même si diverses technologies sont susceptibles de pouvoir s'appliquer à de futures exploitations en parcs clos du saumon.

There are theoretical grounds for believing that fish may be able to be grown more efficiently in closed-containment systems than in net pens, but such performance remains to be demonstrated on a commercial scale. All presently successful commercial closed-containment systems produce and sell "niche" high-priced products, such as salmon smolts, live tilapia, hybrid striped bass, and turbot.

Théoriquement, il existe des raisons de croire que le poisson peut être élevé plus efficacement dans des systèmes en parcs clos que dans des enclos en filet, mais l'efficacité de ces systèmes reste à démontrer à l'échelle commerciale. Tous les systèmes en parcs clos qui sont présentement utilisés efficacement à l'échelle commerciale donnent des produits coûteux réservés à des créneaux particuliers, comme des saumoneaux, du tilapia vivant, du bar rayé hybride et du turbot.

The different unit processes employed in aquaculture become progressively more complex as water is managed and is used more intensively. In net pen farming, water management may be thought of as being passive (i.e., water flow-through in the net pen occurs as a function of natural water currents with no human intervention). However, once a fish rearing container is closed, pumping, oxygenation, solid waste collection and removal, biological water treatment, and acid–base control are sequential, active intervention steps, the potential failure of any of them then dominating all other risk considerations.

Les différentes installations employées en aquaculture deviennent de plus en plus complexes, au fur et à mesure que l'eau doit être gérée et utilisée de plus en plus intensivement. Dans les enclos en filet, la gestion de l'eau peut être considérée comme passive, c.-à-d. qu'elle y circule en fonction des courants naturels, sans intervention humaine. Toutefois, aussitôt qu'un enclos est fermé, le pompage, l'oxygénation, la collecte et l'élimination des déchets solides, le traitement biologique de l'eau et le contrôle acido-basique deviennent des étapes d'intervention active séquentielles, dont la moindre défaillance devient un facteur dominant parmi tous les autres facteurs de risque.

The scale, cost, and risk considerations described are all susceptible to research and demonstration, and these matters should be considered as priorities for future research. In this respect, it is noted that the record suggests that the pumping costs for land-based flow-through closed-containment systems will almost always be too high. And while floating flow-through systems overcome this problem, the track record of fabric bags as the containers does not inspire confidence. Moreover, flow-through systems of either sort are unlikely to be able to achieve the complete

L'échelle, le coût et les risques potentiels décrits doivent tous faire l'objet de recherche et démonstration et devraient d'ailleurs être considérés comme des priorités pour des travaux de recherche futurs. À cet égard, les auteurs notent que l'expérience semble montrer que le coût de pompage des systèmes terrestres en parcs clos à circulation d'eau continue sera presque toujours trop élevé. Même si les systèmes flottants à circulation d'eau continue peuvent permettre de surmonter ce problème, l'expérience de l'usage de sacs en tissu

separation of the salmon farm environment from the wild salmon environment, which is sought by those who advocate closed-containment technology.

DISCUSSION

Over forty case studies were reviewed but only a few were at a commercial scale of production. None of the systems was found to farm adult Atlantic salmon exclusively.

It was suggested that case studies related to ship-farms could be added. Participants noted that there were two examples of ship farms in France, both failed and only one of them was used for salmon. Another ship farm for salmon was newly commissioned in Turkey.

It was noted that all closed-containment systems assumed high stocking densities of greater than 50 kg/m^3. To successfully stock fish at this density requires careful design to maintain dissolved oxygen and levels of waste products. Targets for water quality vary among species and between fresh and salt water. Stocking density can only be increased until stress levels in the fish begin to affect the Feed Conversion Ratios (FCR). If adequate water quality is not maintained, producers may be faced with loss of stock within hours.

Workshop participants noted that animal welfare issues became a greater concern when fish were raised at high densities. Participants suggested that design parameters must aim to optimize production without compromising animal well-being and health.

Recirculation systems appeared to offer potential benefits, but none of these systems was dedicated to rearing Atlantic salmon in

comme enceintes n'inspire pas confiance. En outre, les systèmes à circulation continue de l'un ou l'autre type ne peuvent probablement pas assurer la séparation complète entre le milieu de salmoniculture et l'environnement du saumon sauvage que recherchent les défenseurs de la technologie en parcs clos.

DISCUSSION

Plus de 40 études de cas ont été revues, mais seulement quelques cas étaient à une phase commerciale de production. Aucun des systèmes n'était destiné exclusivement à l'élevage des saumons atlantiques adultes.

On a suggéré d'ajouter des études de cas sur les navires-fermes. Les participants ont remarqué qu'il existait deux exemples de navires-fermes en France; les deux ont connu un échec, et seulement l'un d'eux était utilisé pour la salmoniculture. Un autre navire-ferme destiné à la salmoniculture a été nouvellement mis en service en Turquie.

On a remarqué que tous les systèmes en parcs clos pouvaient contenir des stocks d'une densité supérieure à 50 kg/m^3. Pour réussir à élever des poissons à une telle densité, il faut que l'enclos soit bien conçu de façon à maintenir constant l'oxygène dissout et la quantité de déchets. Les objectifs pour la qualité de l'eau varient selon les espèces et entre l'eau douce et l'eau de mer. On peut augmenter la densité des stocks tant que le degré de stress du poisson ne diminue pas l'indice de transformation alimentaire. Si les producteurs ne maintiennent pas une qualité d'eau adéquate, ils pourraient perdre des stocks en quelques heures.

Les participants à l'atelier ont remarqué que le bien-être des animaux était plus menacé lorsque les poissons se trouvaient dans des élevages à forte densité. Les participants ont suggéré que la conception des enclos devait viser à optimiser la production sans compromettre la santé et le bien-être des animaux.

Les systèmes à recirculation semblaient offrir des avantages potentiels, mais aucun n'était destiné uniquement à l'élevage des saumons

sea water. There were some claims that energy requirements of recirculation systems could be offset by improving feed conversion.

en eau de mer. Des points ont été soulevés quant aux besoins énergétiques des systèmes de recirculation qui pourraient être compensés par l'amélioration de la transformation alimentaire.

It was noted that there were significant differences between salt and fresh water recirculating technologies. There were many successful land-based flow-through freshwater technologies used for commercial production of trout and tilapia. These systems were characterized by high water quality and strong gravity flow. In China there was an attempt to use recirculating aquaculture systems (RAS) for the saltwater rearing of Atlantic salmon but it was closed in 2007.

On a remarqué de grandes différences entre les technologies à recirculation en eau salée et en eau douce. De nombreuses technologies à circulation d'eau douce continue terrestre ont été utilisées avec succès pour la production commerciale de la truite et du tilapia. Ces systèmes étaient caractérisés par une grande qualité d'eau et un fort approvisionnement par gravité. En Chine, on a essayé d'utiliser un système à recirculation aquacole pour l'élevage du saumon atlantique en eau de mer, mais il a dû être fermé en 2007.

All successful commercial closed-containment systems that were currently operating produced high-priced niche products, including salmon smolts, live tilapia, hybrid striped bass, and turbot. The market competitiveness of closed-containment systems in producing lower-priced, commodity products such as salmon or frozen tilapia remained to be demonstrated.

Tous les systèmes en parcs clos commerciaux actuellement en vigueur ont produit des poissons pour des créneaux à prix élevé, entre autres le saumoneau, le tilapia vivant, le bar rayé hybride et le flétan noir. La concurrence du marché des systèmes en parcs clos dans la production de matière première de plus bas prix, par exemple le saumon ou le tilapia congelé, reste à déterminer.

Workshop participants suggested that there needed to be a more detailed analysis of waste water treatment in RAS, particularly the concentration and disposal of solid wastes. Innovative solutions were known in Denmark. Chile had a mandatory program to dispose solid waste from recirculating systems in landfills. Removal of solid and soluble waste could help control pathogens and mitigate interaction with wild populations.

Les participants à l'atelier ont suggéré qu'il fallait effectuer une analyse plus détaillée du traitement des eaux usées dans les systèmes de recirculation aquacoles, en particulier la concentration et la mise au rebut des déchets solides. Des solutions novatrices ont été apportées au Danemark. Le Chili présente un programme obligatoire de mise au rebut des déchets solides des systèmes à recirculation dans des sites d'enfouissement. Le retrait des déchets solides et solubles pourrait permettre de lutter contre les agents pathogènes et de limiter les interactions avec les populations sauvages.

Participants noted that commercial insurers had become experts in assessing fish farm risks. In many cases, commercial failure was caused by a difficulty to meet financial obligations. When evaluating alternative systems, a fish farm that qualified for

Les participants ont remarqué que les assureurs commerciaux étaient devenus des experts dans l'évaluation des risques associés à l'élevage des poissons. Dans de nombreux cas, l'échec commercial était dû à une difficulté à honorer leurs obligations

commercial insurance on reasonable terms, (e.g., an annual premium <5% of insured value with a deductible of 20% or less) was considered to be a viable venture. The reasons cited for farms failing included extreme environmental conditions, mechanical failure, unsound integration of the site, and design, management and market factors. These lessons underlined the importance of good business plans, site selection and management, and realistic projections. Fish farm ventures were capital intensive and their real potential was often only realized after the second or third owner.

financières. Une évaluation des autres types de systèmes a indiqué qu'un élevage de poissons se qualifiant pour une assurance commerciale à des fins raisonnables (p. ex., une prime annuelle < 5 % de la valeur assurée avec déductible de 20 % ou moins) était une avenue possible. Les raisons citées pour l'échec des élevages comprenaient les conditions environnementales extrêmes, les défaillances mécaniques, la mauvaise intégration du site et les facteurs relatifs à la conception, à la gestion et au marché. Ces leçons ont souligné l'importance de bons plans d'affaires, d'une sélection et d'une gestion appropriées du site et de projections réalistes. Les entreprises d'élevage de poissons avaient un fort capital et n'atteignaient souvent leur plein potentiel qu'au second ou troisième propriétaire.

Meeting participants recognized the need for careful analysis between closed-containment rearing and open net pens. In net pens water management was passive and without human intervention. Closed containment rearing required a sequence of active interventions, such as pumping, oxygenation, solid waste collection and removal, biological water treatment and acidity control, each with an inherent risk of failure or malfunction. The theoretical superior efficiency of closed containment systems depended on flawless high-level performance of all system sub-units, which was difficult to do. Animal welfare was another consideration at high stocking densities.

Les participants à la réunion ont reconnu la nécessité d'une analyse attentive comparant les parcs clos d'élevage et les enclos en filet. Dans les enclos en filet, la gestion de l'eau était passive et sans intervention humaine. L'élevage en parcs clos nécessitait une suite d'interventions actives, comme le pompage, l'oxygénation, la collecte et la mise au rebut des déchets solides, le traitement biologique de l'eau et le contrôle de l'acidité, chacune comportant un risque inhérent de défaillance ou de mauvais fonctionnement. L'efficacité théoriquement supérieure des systèmes en parcs clos dépendait d'un rendement élevé sans faille de toutes les sous-unités du système, ce qui n'était pas évident. Le bien-être des animaux était un autre problème lié aux populations de forte densité.

Participants agreed that scale, cost and risk should be considered as priorities for future research. Past experience, indicated that pumping costs would almost always be prohibitive for land-based, flow-through, and closed-containment systems. Floating flow-through systems might overcome this cost but fabric bags had not yet proven their mechanical integrity. Neither land-based nor floating flow-through systems were likely to achieve complete separation of the farmed and wild salmon environments.

Les participants s'accordaient pour dire que l'envergure, le coût et le risque doivent être envisagés comme des priorités de futures études. D'après l'expérience passée, les coûts de pompage seraient presque toujours prohibitifs des systèmes en parcs clos et à circulation d'eau continue terrestres. Les systèmes flottants à circulation d'eau continue peuvent être rentables, mais l'intégrité mécanique des sacs en tissu n'avait pas encore été prouvée. Ni les systèmes de circulation d'eau continue terrestres ni les systèmes flottants ne semblaient pouvoir

2. Engineering Evaluation of the Design and Operation of Closed-containment Systems

Authors: David Fredriksson and Igor Tsukrov
Rapporteur: Boumy Sayavong

ABSTRACT

The objective of this paper is to investigate potential design procedures for closed-containment aquaculture systems deployed in the marine environment. In this context, closed-containment is a term used to describe a range of aquaculture technologies that attempt to restrict and control interactions between farmed fish and the external aquatic environment, with the goal of minimizing impacts. The containment units can be made of rigid or flexible materials, are often closely spaced, and are moored to the seafloor bottom. Geographical area of interest is the Strait of Georgia, British Columbia, Canada.

In this study, the design configurations of multiple closed-containment systems are investigated. The design procedures include examining (1) local environmental conditions, (2) drag forces on multiple containment units, (3) wave loading, (4) undamped heave motions, (5) mooring gear components, and (6) material stresses on a rigid containment structure. Operational and other design considerations are also discussed.

DISCUSSION

Participants found that wind speed, wind direction, drifting ice and ice build-up should also be considered in a site evaluation. Wind was important when a significant amount of the rearing structure was above the waterline. It was noted that some methods for determining environmental properties of locations were described in the Norwegians Standard NS 9415E.

parvenir à une séparation complète des saumons d'élevage et des saumons sauvages.

2. Évaluation technique de la conception et du fonctionnement des systèmes d'élevage en en parcs clos

Auteurs : David Fredriksson et Igor Tsukrov
Rapporteur : Boumy Sayavong

RÉSUMÉ

Ce document vise à examiner les modes de conception possibles des systèmes d'aquaculture en parcs clos utilisés dans le milieu marin. Dans ce contexte, l'élevage en parcs clos désigne un éventail de techniques dont le but est de restreindre et de maîtriser les interactions entre les poissons d'élevage et l'environnement aquatique entourant les installations, en vue de limiter les impacts. Les réservoirs peuvent être de matériaux rigides ou souples et ils sont souvent rapprochés et ancrés dans le fond de la mer. Le détroit de Georgie (Colombie-Britannique), au Canada, est une zone géographique qui offre un intérêt pour ce genre d'installations.

Dans le cadre de cette étude, la conception de plusieurs systèmes en parcs clos est étudiée. Le processus de conception comprend l'examen (1) des conditions du milieu local, (2) de la résistance exercée sur les multiples réservoirs, (3) des forces exercées par les vagues, (4) du tangage non amorti, (5) des composantes de mouillage et (6) des stress subis par les matériaux d'une structure rigide. Les aspects opérationnels et autres facteurs de conception sont aussi abordés.

DISCUSSION

Les participants ont découvert qu'il faut aussi tenir compte de la vitesse du vent, de la direction du vent, de la glace à la dérive et de l'accumulation de glace dans l'évaluation du site. Le vent était un facteur important lorsqu'une partie significative de la structure se trouvait au-dessus de la ligne d'eau. Il a été noté que la norme norvégienne NS 9415E décrit certaines méthodes utilisées pour déterminer les propriétés environnementales des sites.

One reviewer noted several factors to consider in mooring design included first and second order wave forces, wind, and currents. Although first order waves caused the structure to oscillate, the associated moorings would not resist or cancel these motions. Thus, oscillations were not a direct wave force but a first-order wave filtered through the structure. This aspect needed to be included when calculating the strength design of moorings. When second-order wave forces were factored into mooring design, a similar but more complex approach needed to be taken.

Un examinateur a pris en note plusieurs facteurs à envisager dans la conception du mouillage, entre autres la force des vagues de premier et second ordres, le vent et les courants marins. Bien que les vagues de premier ordre puissent faire osciller la structure, les mouillages associés ne pourraient y résister ni les annuler. Les oscillations n'étaient donc pas une force directe de vague, mais une vague de premier ordre filtrée par la structure. Il fallait tenir compte de cet aspect dans le calcul de la résistance des mouillages. Lorsque les mouillages ont été testés avec des vagues de second ordre, une approche semblable, mais plus complexe a dû être adoptée.

One reviewer highlighted that moorings should be analyzed with consideration of their spread and requirement for pre-tension. Thus, the moorings in this paper were likely under-designed in terms of peak excursion and load. This aspect was critical for shallow water moorings because of the rapid non-linear increases in load as excursions increase.

Un examinateur a souligné qu'il fallait analyser les mouillages selon leur répartition et le besoin de pré-tension. Ainsi, les mouillages mentionnés dans ce document étaient sans doute mal conçus en ce qui concerne l'excursion entre les pics et la charge. Cet élément était particulièrement important dans le cas des mouillages en eau peu profonde en raison des augmentations non linéaires rapides de la charge associées à l'augmentation de l'excursion.

There was consensus among reviewers that a collection of cylindrical rigid floating tanks would respond in a highly dynamic manner when subjected to surface waves, especially when wave frequencies approached the natural frequency of the tanks, which could result in high stresses within the connected elements (linkages, walkways, auxiliary system components, etc.).

Les réviseurs se sont entendus sur le fait qu'un ensemble de bassins flottants cylindriques rigides répondrait de façon très dynamique à des vagues de surface, surtout lorsque la fréquence des vagues est presque la même que la fréquence naturelle d'oscillation du bassin, ce qui pourrait engendrer de grands stress sur les éléments joints (liens, passerelles, composantes auxiliaires du système, etc.).

Another issue was water from waves overtopping the relatively low freeboard (about 1m) of the containment structures. To prevent swamping, there needed to be a means of covering tanks or maintaining internal water level. Any equilibrating system would need to work quickly in storm conditions.

Un autre problème venait du fait que les vagues étaient plus hautes que le franc-bord des bassins, qui se trouvait relativement bas (environ 1 m). Pour éviter un débordement, il fallait un moyen de recouvrir les bassins ou de maintenir constant le niveau interne de l'eau. Tout système destiné à rétablir l'équilibre devait réagir rapidement lors des tempêtes.

A related issue was water motion inside

Un autre enjeu connexe était le mouvement

tanks. Pressure differentials would result if the water level was held constant inside tanks but it was variable in the outside environment. It might be necessary to drill holes in the bottom of tanks to compensate for this motion. Additional work was required to develop methods to keep water levels constant in heavy wave and rain conditions.

Flotation of tanks was another issue. Calculations would need to consider the weight of feed, any mortalities, wet snow and the accumulated weight of bio-fouling. Finally, the method of servicing, salvaging and disposing of structures was not addressed.

It was noted that some thought should be given to containing tanks within vessels. An internally subdivided steel or concrete barge might provide a simpler, more robust and more economical system for this application. If a barge system was allowed to swing on a conventional single point mooring, environmental forces would be minimized.

Another option would be to place the structures on the seafloor. This approach would require consideration of permanent impacts to fish habitat and a comparison with the transient impacts of current net arrays. Analysis of rigid floating and attached structures had been well developed by the offshore oil industry.

de l'eau dans les bassins. Si le niveau de l'eau restait stable dans les bassins, mais variait à l'extérieur, il en résultait une différence de pression. Il pourrait donc être nécessaire de percer des trous au bas des bassins pour compenser ce mouvement. Il a aussi fallu mettre au point des méthodes pour maintenir un niveau d'eau constant en cas de houle importante et de pluie.

Un autre enjeu encore était la flottabilité des bassins. Les calculs devaient tenir compte du poids de la nourriture, des mortalités, de la neige fondante et de l'accumulation des biosalissures. Enfin, la méthode suivie pour l'entretien, la récupération et la mise au rebut des structures n'a pas été évaluée.

Il a été noté qu'il fallait songer à mettre les bassins dans des cuves. Une barge contenant des divisions en acier ou en ciment pourrait être une méthode plus simple, plus robuste et plus économique dans ce cas-ci. De plus, si la barge était amarrée à un seul endroit fixe et conservait une certaine liberté de mouvement, les forces environnementales en seraient réduites au minimum.

Une autre option serait de placer les structures sur le plancher océanique. Il faudrait alors tenir compte des répercussions permanentes sur l'habitat des poissons et effectuer une comparaison avec les répercussions transitoires sur les séries de filets actuelles. L'industrie pétrolière en mer a effectué une bonne analyse des structures flottantes et attachées rigides.

3. Comparative Analysis of the Biological Requirements for Salmonid Production at a Range of Densities in Closed containment Systems

Authors: Helgi Thorarensen and Anthony P. Farrell
Rapporteur: Boumy Sayavong

ABSTRACT
We summarize available information on growth and feed conversion of Atlantic salmon reared at high density in contained fish farms. We specifically address maximum loading density and how high the density in

3. Analyse comparative des exigences biologiques de la production de salmonidés selon diverses densités dans des systèmes clos

Auteurs : Helgi Thorarensen et Anthony P. Farrell

Rapporteur : Boumy Sayavong

RÉSUMÉ
Nous résumons l'information disponible sur la croissance et la transformation alimentaire de saumons atlantiques élevés à haute densité dans des systèmes clos. Nous nous penchons tout particulièrement sur la densité

fish tanks can be without limiting optimal fish growth. At high rearing density, it is imperative to closely control water quality. Therefore, we review information on the oxygen (O_2) demands of salmon, as well as their excretion rates for carbon dioxide (CO_2) and ammonia (NH_3). These rates of gas removal–addition are then linked to water quality in salmonid aquaculture. Based on this information, we present the minimum and maximum acceptable limits for O_2, CO_2, NH_3, and suspended solids.

de charge maximale et la densité maximale dans le bassin sans que cela limite la croissance optimale des poissons. À haute densité, il est impératif de surveiller attentivement la qualité de l'eau. Par conséquent, nous examinons l'information sur la demande en oxygène (O_2) du saumon, ainsi que leur taux d'élimination du gaz carbonique (CO_2) et d'ammoniaque (NH_3). Ces taux de retrait–addition de gaz sont ensuite liés à la qualité de l'eau pour la salmoniculture. D'après cette information, nous présentons les limites minimale et maximale acceptables d'O_2, de CO_2, de NH_3 et de solides en suspension.

DISCUSSION

Some reviewers stated that more consideration should be given to stock selection. Genetic selection was not just limited to growth, it could be used for feed performance and disease resistance, both important elements of future fish farming.

DISCUSSION

Certains examinateurs ont déclaré qu'il faudrait se pencher davantage sur la sélection des stocks. La sélection génétique n'était pas limitée à la croissance, mais pouvait aussi compter le rendement nutritionnel et la résistance aux maladies, deux éléments importants pour l'élevage de poissons à l'avenir.

It was noted that Feed Conversion Ratios (FCR) were usually calculated for small-tank systems that might not apply to large systems. It would be useful to develop baseline FCRs for net pens and use them in future comparisons or modeling exercises.

Il a été noté que l'indice de transformation alimentaire généralement calculé pour les systèmes à petits bassins ne s'appliquait pas forcément aux systèmes à gros bassins. Il serait avantageux d'établir des indices de transformation alimentaire de départ pour les enclos en filet et de les utiliser dans de futures comparaisons ou exercices de modélisation.

Reviewers were interested to know what would happen to fish exposed to oxygen levels greater than 100 percent saturation. Some studies suggested that growth rate would not be greatly affected in these conditions. The relationship between oxygen saturation and growth rate needed to be better understood.

Les examinateurs étaient intéressés à savoir ce qu'il adviendrait des poissons exposés à une saturation en oxygène supérieure à 100 pour cent. Des études donnent à penser que ces conditions n'auraient pas de grandes répercussions sur le taux de croissance. La relation entre la saturation en oxygène et le taux de croissance devait être mieux comprise.

It was noted that constant oxygen levels were also important. For example, a sudden 15-minute change in oxygen saturation could cause fish to stop eating for 3 days. It was not known if this type of behaviour occurred with Atlantic salmon. A sudden change in

On a remarqué qu'il était aussi important que les taux d'oxygène soient constants. Par exemple, dans les cas de variation soudaine d'une durée de 15 minutes de la saturation en oxygène, les poissons peuvent arrêter de manger pendant trois jours. On ignore si les

oxygen saturation could also result in changes of gene expression. Thus, it was not the total level of oxygen but the rate of change that mattered.

saumons atlantiques ont présenté ce type de comportement. Une variation soudaine de la saturation en oxygène peut aussi entraîner des variations de l'expression des gènes. Ce n'était donc pas le taux d'oxygène total qui importait, mais la fréquence de variations de ce taux.

Most participants agreed with the authors' recommendation that oxygen saturation should be kept between 80-100 percent; however, some literature suggested that this level could be less, about 60-70 percent.

La plupart des participants étaient d'accord avec la recommandation des auteurs de maintenir une saturation en oxygène entre 80 et 100 pour cent; cependant, certains documents laissent penser que ce taux pourrait être plus faible, soit environ 60 à 70 pour cent.

One participant highlighted the harsh nature of the natural environment. In net pens, oxygen levels could drop overnight whereas in contained systems, they could be controlled and maintained.

Un participant a souligné les conditions difficiles du milieu naturel. Dans les enclos en filet, les taux d'oxygène peuvent baisser au cours de la nuit, alors que, dans les systèmes en milieu clos, ils peuvent être contrôlés et maintenus.

The reviewers agreed that designs of closed systems should consider the hierarchy of schooling Atlantic salmon. Some studies found that the dominant fish tended to swim near the surface where oxygen levels were higher. Other studies found that at low densities the dominance hierarchy did not appear to hinder growth. When designing a closed system, oxygen levels should be kept as constant as possible throughout the container, both temporally and spatially. More work was required to determine whether growth rates changed at high densities as result of the fish hierarchy and its interactions.

Les examinateurs s'accordaient pour dire que la conception des systèmes fermés devait tenir compte de la hiérarchie des bancs de saumon atlantique. Des études ont montré que les poissons dominants avaient tendance à nager près de la surface, où les taux d'oxygène sont plus élevés. D'autres études ont conclu que, dans les faibles densités de population de poisson, la hiérarchie ne semblait pas nuire à la croissance. Au moment de mettre au point un parc clos, il faut veiller à garder les taux d'oxygène aussi stables que possible dans tout l'enclos, dans le temps comme dans l'espace. Il a ensuite fallu déterminer si le taux de croissance changeait lorsque les populations de poisson étaient élevées en raison de la hiérarchie et des interactions que cela imposait.

One participant recommended that the respiratory quotient (RQ) for carbon dioxide should be used cautiously when estimated in sea water. From research on trout, it was found that oxygen consumption and CO_2 elimination dropped when fish moved from being fed to a 24-hour fast, even though the RQ did not change. This phenomenon occurred because fish tended to metabolize more proteins during feeding and more

Un participant a recommandé d'utiliser avec prudence le quotient respiratoire métabolique (QR) du gaz carbonique lorsqu'il est estimé dans l'eau de mer. Des études sur la truite ont montré que la consommation d'oxygène et l'élimination de CO_2 ont baissé lorsque les poissons ont cessé d'être nourris pendant 24 heures, bien que le QR n'ait pas changé. Ce phénomène est survenu parce que les poissons avaient tendance à métaboliser plus

carbohydrates during fasting.

One reviewer commented that salmonids excreted bicarbonates in response to a change in CO_2 levels. The fish balanced bicarbonate with pH in a process that took up to 24 hours and could live in a high level of CO_2 as long as the saturation was increased gradually. Therefore, the problem was not so much the total level of CO_2 but its rate of change. In addition, fish held at high densities were slower to compensate for a change in CO_2 than those held at low densities.

A reviewer stated that under normal conditions, fish could tolerate somewhat higher levels of ammonia than usually reported. Some studies found that a slight elevation of ammonia actually encouraged growth rather than diminishing it. It was possible that ammonia would be less of a problem than fluctuating oxygen and CO_2 levels.

It was noted that the standard threshold cited for nitrate exposure was 300 mg/L. This value might be relevant to short-term exposure but had not been validated for chronic exposure. It was quite likely that fish would be sensitive to chronic exposure of lower levels of nitrate. This area needed more research.

It was also noted that particulates associated with heterotrophic bacteria might affect the visual feeding behavior of fish in closed systems. Increased turbidity resulted in decreased feeding, even under optimal oxygen and CO_2 conditions. Turbidity was affected by the composition and size of solids and was a systemic issue that was not well understood. More research was needed.

One participant noted that turbidity was a

de protéines lorsqu'ils étaient nourris et plus de glucides lorsqu'ils étaient à jeun.

Un examinateur a expliqué que les salmonidés excrétaient des bicarbonates en réponse à une variation du taux de CO_2. Les poissons pouvaient équilibrer le taux de bicarbonate en fonction du pH selon un processus qui prenait jusqu'à 24 heures, et ils pouvaient vivre dans un milieu riche en CO_2 tant que la saturation augmentait graduellement. Le problème n'était donc pas tant le taux total de CO_2, mais la fréquence de ses variations. De plus, les poissons maintenus à forte densité compensaient les variations de CO_2 plus lentement que ceux de populations à faible densité.

Un examinateur a déclaré que, en temps normal, les poissons pouvaient tolérer des taux un peu plus élevés d'ammoniaque que ceux généralement signalés. Des études ont conclu qu'une légère hausse du taux d'ammoniaque favorisait en fait la croissance au lieu de lui nuire. Il est possible que cette substance pose moins de problème que les variations de taux d'oxygène et de CO_2.

On a remarqué que le seuil standard établi pour l'exposition aux nitrates était de 300 mg/L. Cette valeur peut être pertinente pour une exposition à court terme, mais n'a pas été validée pour une exposition chronique. Il était très probable que les poissons soient sensibles aux expositions chronique à des taux de nitrates plus faibles. Des études plus poussées sont nécessaires.

On a aussi noté que des matières particulaires associées aux bactéries hétérotopiques pouvaient influer sur le comportement alimentaire lié à la vision des poissons en parcs clos. Une turbidité accrue a causé une réduction de l'alimentation, même lorsque les taux d'oxygène et de CO_2 étaient optimaux. La turbidité était affectée par la composition et la taille des particules solides et était un enjeu systémique mal compris. Des études plus poussées sont nécessaires.

Un participant a remarqué que la turbidité

limiting factor due to particulate matter in the water, particularly with bag systems. Bag systems were also limited by the rate that oxygen could be injected into them. As a result, much of the volume of bag systems was not utilized and rearing density could not exceed 35 kg/m^3. It was also difficult to gauge feeding responses in these systems.

était un facteur limitant lié à la présence de matières particulaires dans l'eau, surtout dans les systèmes avec sacs. Ces systèmes étaient aussi limités par la fréquence à laquelle l'oxygène pouvait y être injecté. Par conséquent, une grande partie du volume des systèmes avec sacs n'était pas utilisée, et la densité de l'élevage ne pouvait excéder 35 kg/m^3. Il était aussi difficile d'évaluer les réponses nutritionnelles des poissons élevés dans ces systèmes.

Another biological requirement that could be important was swimming velocity. The preferred velocity for optimal performance was well known for Atlantic Salmon. The challenge was to ensure uniform distribution of oxygen and CO_2, while maintaining water velocities within comfortable limits for fish to swim.

Un autre critère biologique qui pourrait être important est la vitesse de déplacement des poissons. La vitesse préférée pour un rendement optimal était bien connue pour le saumon atlantique. Le défi était de veiller à la répartition uniforme de l'oxygène et du CO_2 tout en maintenant une bonne vitesse de déplacement pour les poissons.

One reviewer mentioned that fish welfare should be considered and noted that Europe was developing guidelines on fish welfare, requiring densities to be lower than 80 kg·m^3. The World Health Organization's OIE was now including fish welfare as part of its trade requirements, which may have a profound implication for Canadian exports.

Un examinateur a mentionné que le bien-être des poissons devrait être pris en considération et a remarqué que l'Europe établissait des lignes directrices en la matière, exigeant des densités de populations inférieures à 80 kg/m^3. L'OIE de l'Organisation mondiale de la santé comprend maintenant le bien-être des poissons dans ses critères commerciaux, qui pourraient avoir de grandes répercussions sur les exportations canadiennes.

There was some discussion about the rearing of Atlantic salmon in freshwater. One of the authors mentioned that some BC growers were raising Atlantic salmon in brackish water (10-20 parts per 1000) for a market in specialty restaurants.

Une discussion a eu lieu sur l'élevage des saumons atlantiques en eau douce. L'un des auteurs a mentionné que certains élevages de ce poisson en C.-B. se faisaient avec de l'eau saumâtre (10 à 20 parties par 1 000) pour des restaurants de produits spécialisés.

4. Conduct an engineering evaluation of the unit process technologies to maintain water quality for optimal fish growth and fish health

Authors: Daniel Stechey and W.D. (Bill) Robertson
Rapporteur: Boumy Sayavong

ABSTRACT

A comparative review of 10 separate, commercially available production systems was conducted using conceptual designs capable of producing 2500 tonnes of Atlantic salmon in a 2-year period. All of these seawater systems were required to meet the water quality limits identified for intensive salmon culture, that is, dissolved CO_2 < 10 mg/L; dissolved O_2 > 80%–100% saturation; total ammonia nitrogen (NH_3-N) < 0.0125 mg/L; and total nitrite (NO_2-N) < 0.5 mg/L. Five types of production systems were included: (a) conventional net pen, (b) closed-confinement systems with rigid walls, (c) closed-confinement systems with flexible walls, (d) land-based flow-through systems, and (e) a land-based complex recirculation system. Three alternatives were considered for the closed-confinement system with rigid walls: (1) no aeration, (2) diffused aeration, and (3) pure oxygen injection. Four alternatives were considered for the land-based flow-through system: (1) influent aeration with a packed column, tanks on grade, (2) influent aeration with a packed column, tanks in-ground, (3) tanks in-ground, pure oxygen injection, dual drain, bottom water to sedimentation pond, and (4) tanks in-ground, pure oxygen injection, dual drain, bottom water to drum filter, backwash water to sedimentation pond. A single complex recirculation system was considered, largely based on the commercially available AquaOptimaTM system.

Potential aquaculture–environment interactions related to parasite and pathogen movement, fish escapes, mammalian and

4. Réaliser une évaluation technique des processus qui maintiennent la qualité de l'eau pour une croissance et une santé optimales des poissons

Auteurs : Daniel Stechey et W.D. (Bill) Robertson
Rapporteur : Boumy Sayavong

RÉSUMÉ

Un examen comparatif de 10 systèmes de production disponibles dans le commerce est mené à l'aide d'études de conception de chaque système, avec un objectif de production de 2 500 tonnes de saumons atlantiques en 2 ans. Tous ces systèmes à eau de mer devaient respecter les limites de qualité de l'eau précisées pour la salmoniculture intensive, à savoir : CO_2 dissous < 10 mg/L; O_2 dissout > 80–100 % de saturation; azote ammoniacal total (NH_3-N) < 0,0125 mg/L; nitrites totaux (NO_2-N) < 0,5 mg/L. Cinq types de systèmes de production ont été examinés : (a) enclos en filet classique; (b) système d'élevage en parcs clos à parois rigides; (c) système d'élevage en parcs clos à parois souples; (d) système terrestre à circulation d'eau continue; (e) système terrestre à recirculation. Trois possibilités sont envisagées pour le système d'élevage en parc clos à parois rigides : (1) sans aération; (2) avec aération diffuse; (3) avec injection d'oxygène pur. Quatre possibilités sont étudiées pour les systèmes terrestres à circulation d'eau continue : (1) aération de l'influent avec colonne filtrante, réservoirs dans une pente; (2) aération de l'influent avec colonne filtrante, réservoirs dans le sol; (3) réservoirs dans le sol, injection d'oxygène pur, drain double, eau du fond vers l'étang de décantation; (4) réservoirs dans le sol, injection d'oxygène pur, drain double, eau du fond vers un filtre à tambour, eau de lavage à contrecourant vers l'étang de sédimentation. Le seul système à recirculation examiné est inspiré en grande partie du système AquaOptima™ offert sur le marché.

Les interactions potentielles entre l'aquaculture et l'environnement associées au mouvement des parasites et des agents

avian predation, solid and soluble waste management, and water quality were comparatively reviewed for the ten systems. None of the proposed systems was 100% closed to the outside environment. Based on qualitative risk factors, land-based intensive recirculation facilities provided the greatest degree of "containment", followed by flow-through land-based facilities, rigid-wall floating tank facilities, flexible-wall floating tank facilities, and conventional net pen facilities. The greatest risks for adverse environmental interactions appear to be associated with the potential release of pathogens and (or) parasites from the aquaculture production systems; however, even these were categorized as "moderate" for all systems.

Potential fish escape was also identified as a moderate risk for net pens and for the floating flexible-wall tank system. All other risks factors were categorized as either "low" or "negligible."

Issues related to socio-economic aspects of salmon aquaculture, social justice, aesthetics (i.e., visual pollution), animal welfare, capital and operational expenses, and energy consumption were not reviewed and were not reflected in the comparative assessment. Additionally, while it was suggested that several of the systems would provide an opportunity to remove solid wastes for disposal, this review did not delve into the practicality of technologies and practices to dispose of marine biosolids, a significant challenge that cannot be overlooked. The information compiled in this chapter was intended to serve as input for comparative evaluations of total energy requirements as well as the level of financial investment and returns amongst the ten systems in separate, subsequent reports.

pathogènes, aux poissons échappés, à la prédation par les mammifères et les oiseaux, à la gestion des déchets solides et solubles et à la qualité de l'eau ont été comparées pour les dix systèmes. Aucun des systèmes proposés n'est entièrement confiné. Selon les facteurs de risque qualitatifs, les installations terrestres d'élevage intensif à recirculation offrent le plus grand degré de confinement, suivies des installations terrestres à circulation d'eau continue, des systèmes à réservoir flottant à parois rigides, des installations à réservoir flottant à parois souples et des enclos en filet classiques. Le risque le plus élevé d'interactions négatives avec l'environnement semble être associé au rejet potentiel d'agents pathogènes et(ou) de parasites par les systèmes de production aquacoles; toutefois, même ces risques ont été considérés comme « modérés » pour l'ensemble des systèmes.

Les possibilités d'échappées de poissons sont également associées à un risque modéré dans le cas des enclos en filet et dans le cas du système avec réservoir flottant à parois souples. Tous les autres facteurs de risque sont considérés comme étant « faibles » ou « négligeables ».

Les questions associées aux aspects socio-économiques de la salmoniculture, à la justice sociale, à l'esthétique (c.-à-d. la pollution visuelle), au bien-être des animaux, aux investissements et aux dépenses d'exploitation ainsi qu'à la consommation d'énergie n'ont pas été examinées et ne sont pas prises en considération dans l'évaluation comparative. En outre, même si on laisse sous-entendre que plusieurs des systèmes pourraient permettre l'élimination des déchets solides, le présent examen n'approfondit pas le caractère pratique des techniques et des pratiques pour éliminer les biosolides marins, enjeu important qu'il ne faut pas oublier. L'information présentée dans le rapport est destinée à des évaluations comparatives des besoins énergétiques totaux et du degré d'investissement et des revenus associés aux dix systèmes qui seront présentées dans des rapports distincts et subséquents.

DISCUSSION

It was noted that all the systems used in this analysis would meet the water quality limits set in the Comparative Analysis of the Biological Requirements for Salmonid Production at a Range of Densities in Closed-Containment Systems, namely: CO_2 < 10 mg/L; O_2 at 80-100% saturation; NH_3-N < 0.0125 mg/L; and, NO_2-N < 0.5 mg/L

Some reviewers believed that a 5% water makeup in RAS was conservative and that it could be reduced to 1% in order to minimize water demand, cost of heating, and disinfection of influent and effluent. PRAqua makes a product for CO_2 stripping and oxygenation called Oxytower, which runs at about 2000 gpm.

A reviewer noted that water-flow rates proposed for the oxygenated systems would not maintain CO_2 less than 10 mg/L. The worst problem would be System 4e, where water in the culture tank would need to be changed every 15 minutes in order to maintain the CO_2 within safe limits, a rate four times higher than assumed in the paper. Aeration and oxygenation within the culture tanks could also be detrimental to tank hydrodynamics and might reduce the efficiency of removing solid waste. The magnitude of this effect was unclear.

In System 4e, one reviewer agreed that ozonating the RAS flow would be critical to prevent accumulation of dangerous levels of suspended solids, nitrite and organic matter. It was suggested that ozone could be added with oxygen at the low-head oxygenator, a common practice throughout North America.

Another reviewer recommended not to ozonate at the inlet flow because it would create bromines. To avoid this problem

DISCUSSION

On a remarqué que tous les systèmes utilisés dans cette analyse satisfaisaient aux critères de qualité de l'eau établis par l'Analyse comparative des exigences biologiques de la production de salmonidés selon diverses densités dans des systèmes en parc clos, soit : CO_2 < 10 mg/L; saturation en O_2 à 80 à 100 %; NH_3-N < 0,0125 mg/L; et NO_2-N < 0,5 mg/L.

Certains examinateurs étaient d'avis que la pratique de 5 % d'eau d'appoint dans le système aquacole à recirculation était conservatrice et que l'on pouvait réduire cette quantité à 1 % pour abaisser au minimum la demande en eau, le coût de chauffage et la désinfection des influents et effluents. PRAqua a conçu un produit pour éliminer le CO_2 et fournir une oxygénation appelé Oxytower, qui fonctionne à environ 2 000 gpm.

Un examinateur a remarqué que le débit d'eau proposé pour les systèmes oxygénés ne maintiendrait pas le CO_2 à moins de 10 mg/L. Le pire problème viendrait du système 4e, où l'eau du bassin devrait être changée toutes les 15 minutes afin de maintenir le taux de CO_2 dans des limites sécuritaires, taux quatre fois plus élevé que celui établi dans le document. L'aération et l'oxygénation des bassins pourraient aussi se faire au détriment de l'hydrodynamisme du bassin et pourraient réduire l'efficacité du retrait des déchets solides. La portée de ces répercussions reste à déterminer.

Pour le système 4e, un examinateur était d'accord pour dire que l'ozonisation de l'eau du système aquacole à recirculation serait de première importance pour éviter une accumulation dangereuse de solides en suspension, de nitrites et de matière organique. On a suggéré d'ajouter de l'ozone à l'oxygène dans l'oxygénateur à basse pression, pratique courante en Amérique du Nord.

Un autre examinateur a recommandé de ne pas ozoniser l'eau à l'entrée, pour éviter de créer des bromures. Pour contourner ce

ozone should not be used to disinfect the makeup flow or the effluent. Rather, UV irradiation would be more appropriate after filtration (20 micron sieve) of the makeup flow. In addition, UV irradiation units clarified the water by keeping the particulates, fine solids and nitrites at low concentrations.

problème, il vaut mieux ne pas utiliser d'ozone pour désinfecter l'eau d'appoint ou l'effluent. L'irradiation par rayons UV serait plus appropriée après la filtration (tamis de 20 microns) de l'eau d'appoint. De plus, l'irradiation par rayons UV a éclairci l'eau en maintenant les matières particulaires, les solides fins et les nitrites à de faibles concentrations.

It was noted that the UV irradiation units proposed to disinfect the recirculating flows would be the greatest capital and operating costs in the design. The main benefit of UV irradiation in the recirculating flow would be to reduce the potential for fish pathogens that may escape the biosecurity barriers.

On a remarqué que les unités d'irradiation par rayons UV proposées pour la désinfection lors de la recirculation d'eau apporteraient les plus grands bienfaits et coûts d'exploitation du système. Le principal avantage de l'irradiation par rayons UV sur la recirculation d'eau serait de réduire le nombre de pathogènes du poisson qui pourraient traverser les barrières de biosécurité.

Some participants felt that disinfection for water quality control and fish health was unnecessary because bacteria in the water were not hurting the farmed fish. Proper design and operation would keep obligate pathogens out of the facility, making UV irradiation of the recirculation flow unnecessary.

Certains participants étaient d'avis que la désinfection n'était pas nécessaire dans une optique de contrôle de qualité de l'eau et de santé des poissons, car les bactéries présentes dans l'eau ne nuisaient pas aux poissons d'élevage. Une conception et une exploitation adéquates empêcheraient les pathogènes de pénétrer dans l'installation, et l'irradiation par rayons UV de la recirculation d'eau ne serait donc plus nécessaire.

Other participants felt that there should be more complete descriptions of the technologies required to prevent release of parasites, pathogens and salmon. These descriptions would include: 1) fish exclusion and barrier technologies; 2) pathogen disinfection technologies for effluent; 3) parasite exclusion technologies for effluent; 4) pasteurization of backwash before disposal; 5) disposal of saline bio-solids; 6) alternate technologies for dewatering waste biosolids; and, 7) technologies to remove TP, TN, and BOD from the effluent.

D'autres participants croyaient qu'il faudrait des descriptions plus complètes des technologies requises pour empêcher la libération de parasites, de pathogènes et de saumon. Ces descriptions comprendraient : 1) les technologies d'exclusion des poissons et de barrière; 2) les technologies de désinfection des pathogènes dans les effluents; 3) les technologies d'exclusion des parasites dans les effluents; 4) la pasteurisation de l'eau de lavage à contrecourant avant l'élimination; 5) l'élimination des matières biosolides salines; 6) les autres technologies de déshydratation des déchets biosolides; et 7) les technologies destinées à éliminer le phosphore total (PT), l'azote total et la demande biologique d'oxygène (D.B.O.) de l'effluent.

It was noted that a broader review of the technologies applied to recycle systems

On a noté qu'une revue plus étendue des technologies relatives aux systèmes de

would indicate that several bio-filter types had been successfully used in RAS for salmon smolts and other species.

The possibility of using low salinity water to rear salmon was discussed. This approach would reduce the requirement for pumping makeup water. Fresh water could then be used instead of sea water. Overall water flow would decrease and the cost of ozonation would become more plausible. A related issue was the quality of fish flesh in fresh or salt water systems. This topic needs further research and was outside the scope of the paper.

5. Mitigating Pathogen Transmission for Commercial Solid Wall Marine Salmon Farms in British Columbia – a Concept Paper

Authors: Phil Byrne, Larry Hammell, Charles Caraguel, Jillian Westcott and Carol McClure
Rapporteur: Boumy Sayavong

A closed-pen marine salmon farm located along the BC coast would need to manage a variety of recognized disease agents known to occur in farmed and wild salmon, including ectoparasites (sea lice), protozoa (*Kudoa* sp.), plankton, bacteria (*Flexibacter* sp., *Aeromonas* spp., *Renibacterium salmonarum*, *Piscirickettsia salmonis*), and viruses (rhabdoviruses). Other infectious as well as noninfectious conditions have also been described, but this review is not intended to be a comprehensive assessment of salmon diseases or disinfection technologies.

Infectious disease results from a combination of factors including conditions of the host and the environment (e.g., age and health status of the host and temperature). Infection does not always lead to measurable disease. Suboptimal production and disease in cultured salmon does not

recyclage indiquerait que plusieurs types de bio-filtres ont été utilisés avec succès dans le système aquacole à recirculation pour les saumoneaux et d'autres espèces.

La possibilité d'utiliser de l'eau à faible salinité pour l'élevage du saumon a été abordée. Cette approche réduirait la nécessité de pomper l'eau d'appoint. De l'eau douce pourrait alors être utilisée au lieu d'eau de mer. Le débit général de l'eau diminuerait, et le coût d'ozonisation deviendrait plus admissible. Un enjeu connexe était la qualité de la chair de poisson dans les systèmes d'eau douce ou d'eau de mer. Des études plus poussées sont nécessaires, ce sujet n'était pas l'un des points couverts par le document.

5. Atténuation de la transmission des agents pathogènes pour les systèmes commerciales aquicoles à parois rigides des fermes salmonicoles en Colombie Britannique – unE ÉTUDE CONCEPTUEL

Auteurs : Phil Byrne, Larry Hammell, Charles Caraguel, Jillian Westcott et Carol McClure
Rapporteur : Boumy Sayavong

Une ferme salmonicole marine d'enclos fermés, située le long de la côte de la C.-B., devra gérer divers agents pathogènes connus comme étant souvent présents chez les saumons sauvages et d'élevage, notamment les ectoparasites (pou de poisson), les protozoaires (*Kudoa* sp.), le plancton, les bactéries (*Flexibacter* sp., *Aeromona* spp., *Renibacterium salmonarum*, *Piscirickettsia salmonis*) et les virus (rhabdovirus). D'autres agents infectieux et non infectieux ont été décrits, mais l'objet de cet examen n'était pas de faire une évaluation exhaustive des maladies du saumon ou des technologies de désinfection.

Les maladies infectieuses résultent d'une combinaison de facteurs, notamment les conditions de l'hôte et de l'environnement (p. ex. âge et état de santé de l'hôte et température). L'infection ne mène pas toujours à une maladie mesurable. Une production sous-optimale et une maladie

exclusively result from exposure to infectious agents. Inadequate feed and water quality disturbances such as high temperature, low dissolved oxygen, high levels of excreta, and some plankton blooms can lead to disease (morbidity or mortality). Reducing pathogen transmission is only part of a health management plan.

survenant chez le saumon d'élevage ne résultent pas exclusivement de l'exposition à des agents infectieux. Une nourriture inappropriée et la perturbation de la qualité de l'eau, comme une température élevée, un faible taux d'oxygène dissous, des taux élevés d'excrétions et la prolifération de plancton, peuvent donner lieu à l'apparition de maladies (morbidité ou mortalité). La réduction de la transmission des pathogènes n'est qu'une partie seulement d'un plan de gestion de la santé.

To control pathogen transmission (and disease risk), it is suggested that implementing good biosecurity and health management oversight for closed-confinement systems would be a prudent starting point. Eliminating the risk of pathogens being present in the water supplying or being discharged from closed pens is not a reasonable objective with current technologies and cost considerations. Use of more sophisticated and expensive approaches to blocking pathogen transmission, such as water filtration or disinfection using UV or ozone, is not clearly justified at this time. Disease risk assessments are required in order to identify critical control points for closed pens.

Afin de limiter la transmission de pathogènes (et les risques de maladie), on propose de mettre en œuvre un bon plan de surveillance de la gestion de la santé et de la biosécurité pour un système clos, comme point de départ prudent. L'élimination du risque de présence de pathogènes dans l'eau qui alimente les enclos ou qui en est retirée n'est pas un objectif raisonnable, compte tenu des technologies actuelles et des coûts en cause. Le recours à une démarche plus avant-gardiste et coûteuse, qui consiste à bloquer la transmission de pathogènes, par exemple par la filtration de l'eau ou la désinfection à l'aide de rayons UV ou d'ozone, n'est clairement pas justifié pour le moment. Il faut d'abord évaluer les risques de maladie pour déterminer l'emplacement des points de contrôle critique des enclos fermés.

This information could then be used to justify the added expense of deploying additional procedures and technologies. If and when more active interception of pathogens is deemed necessary, technologies should be targeted to the influent water stream and not necessarily the effluent. The influent would be less expensive to treat because it would have less organic material than the effluent. Influent treatment could also directly benefit the health of the fish.

Cette information pourrait ensuite être utilisée pour justifier la dépense supplémentaire de l'application de méthodes et technologies additionnelles. Quand on juge nécessaire l'interception active des pathogènes, des technologies devraient cibler l'eau d'alimentation et non pas nécessairement l'effluent. Le traitement de l'influent serait moins coûteux parce qu'il contiendrait moins de matières organiques que l'effluent. Il pourrait aussi avoir des avantages directs sur la santé des poissons de l'enclos.

In a closed system, fish stocking densities will be higher, water turnover rates will be lower, and hydraulic retention times will increase, leading to increased accumulation of waste debris, including water-borne pathogens (if present). The environment of a

Dans un système clos, la densité des poissons sera plus élevée, le taux de renouvellement de l'eau sera plus faible, le temps de séjour de l'eau augmentera, ce qui entraînera une accumulation des déchets, y compris des pathogènes d'origine hydrique.

closed system may therefore increase the exposure risk and horizontal spread of some opportunistic diseases that are typically associated with more intensive farming conditions (e.g., bacterial kidney disease (BKD) and ectoparasitic protozoa). Closed pens would improve the separation of cultured fish from the environment as a result of decreased water passage, eliminate fish-to-fish contact through intact netting, and reduce the risk of unplanned movement of fish into or out of pens. Influent water may be controllable in terms of depth of input; this may help to avoid some pathogen life stages and plankton and select for better water quality; however, there maybe trade-offs in terms of optimum influent depths (not all inputs may be equally improved).

L'environnement d'un système clos peut donc augmenter le risque d'exposition et la propagation horizontale de certains agents pathogènes (maladies opportunistes) qui sont généralement associés à des conditions d'élevage plus intensif (p. ex. la maladie rénale bactérienne et les protozoaires ectoparasites). Les enclos fermés amélioreraient la séparation du poisson d'élevage de l'environnement par suite de la diminution du passage de l'eau, élimineraient le contact de poisson-poisson au travers des filets et réduirait le risque de transfert non planifié du poisson vers un enclos ou vers l'extérieur. L'alimentation en eau peut être contrôlée en termes de profondeur de l'apport, ce qui peut aider à éviter certains stades biologiques des pathogènes, du plancton et à sélectionner une eau de meilleure qualité. Par contre, elle peut y avoir des inconvénients liés à la profondeur optimale de l'alimentation (les apports ne peuvent pas toujours être améliorés).

Complete disruption of pathogen exchange between a closed-pen facility and the environment is likely only possible in a land-based recirculation system. Influent and effluent water volumes would be smaller, which might permit the use and expense of sophisticated disinfection technologies.

Une rupture complète de l'échange de pathogènes entre une installation en parcs clos et l'environnement n'est vraisemblablement possible que dans un système terrestre à recirculation. Les volumes d'eau d'influent et d'effluent seraient plus limités, ce qui permettrait l'utilisation de technologies de désinfection perfectionnées et des dépenses connexes.

Many gaps need to be addressed in terms of quantifying and verifying the effectiveness of pathogen removal technologies in aquaculture influent and effluent water flows. A closed facility provides an excellent research vehicle for such investigations because it affords the ability of being able to better evaluate the effectiveness of biosecurity and health management practices.

Il faut combler de nombreuses lacunes relatives à la quantification et à la vérification de l'efficacité des technologies d'élimination des pathogènes dans l'eau d'arrivée et de sortie du système aquacole. Une installation en parcs clos fournit un excellent sujet de recherche pour ce genre d'étude parce qu'elle permet d'évaluer l'efficacité de la biosécurité et des pratiques de gestion de la santé.

DISCUSSION

The paper provided a comprehensive summary of general husbandry and bio-security practices and principles. It was suggested that it would have been useful to include a review of protocols that might help reduce the threat of disease, such as

DISCUSSION

Le document a présenté un sommaire complet des pratiques et principes généraux d'élevage et de biosécurité. On a suggéré qu'il serait utile d'ajouter une revue des protocoles qui pourraient aider à réduire le risque de maladie, par exemple la séparation

separation of year classes, cleaning of equipment and boats, and transfer of materials among containers.

Reviewers noted that the paper focused on high production diseases, in particular those relevant to British Columbia, and that effluent treatment was not reviewed. The authors argued that because the external environment is the source of pathogens, treatment of influent should alleviate future disease transmission. They also noted that the phrase "disease transmission" was used indiscriminately to apply to both pathogens and diseases. It would be more accurate to say that pathogens moved and that disease developed.

Some of the participants questioned the need to control pathogens that would be rare or non-existent in open net pens and felt that the regulatory regime had been established for societal reasons and not necessarily to maintain fish health.

Sea lice were one of the two top priorities for an effective fish health management plan in British Columbia. BC's current regulatory regime required producers to treat their cages when three or more mobile sea lice were found per fish sampled between March and June.

The authors discussed the option of influent versus effluent treatment. They considered that influent water treatment seemed the most appropriate because influent water would be cleaner and easier to decontaminate and therefore less costly than treatment of the effluent water.

A number of participants advocated treatment of the effluent. They argued that industry's goal should be to discharge fewer pathogens into the environment. Influent water was already well managed by pre-filtering. Fish from freshwater hatcheries

des classes d'âge, le nettoyage de l'équipement et des bateaux et le transfert du matériel dans les contenants.

Les examinateurs ont remarqué que le document portait principalement sur les maladies permettant une production élevée, particulièrement en Colombie-Britannique, et que le traitement à l'effluent n'avait pas été examiné. Les auteurs ont déclaré que, comme les pathogènes provenaient du milieu externe, le traitement à l'influent devrait stopper toute transmission future de la maladie. Ils ont aussi remarqué que l'expression « transmission de la maladie » a été utilisée tant pour les pathogènes que pour les maladies. Il serait plus exact de dire que les agents pathogènes se transmettent et que la maladie se propage.

Certains participants ont remis en question le besoin de maîtriser les pathogènes qui seraient rares ou non existants dans les enclos en filet et avaient l'impression que les règlements ont été établis pour des raisons sociétales et pas nécessairement pour le bien-être des poissons.

Les poux de poisson étaient l'une des deux priorités pour une prise en charge efficace de la santé des poissons en Colombie-Britannique. La réglementation actuelle de la C.-B. exige des producteurs qu'ils traitent leurs cages lorsqu'ils décèlent au moins trois poux de poisson mobiles par échantillon de poisson de mars à juin.

Les auteurs ont discuté de l'option de traitement à l'influent par rapport au traitement à l'effluent. Ils ont discuté du fait que le traitement à l'influent semblait plus approprié parce que l'eau était alors plus propre et plus facile à décontaminer, ce qui rendait ce traitement moins coûteux que celui à l'effluent.

Un certain nombre de participants favorisaient le traitement à l'effluent, disant que l'industrie devait avoir pour objectif de rejeter le moins de pathogènes possible dans l'environnement. L'eau à l'influent est déjà bien traitée par la pré-filtration. Les poissons

were lice-free. Lice could potentially be transmitted from the inflow, however this was treatable. One participant raised the point that fish medication could help mitigate pathogen transmission.

One outcome of the review paper was that a minimal mitigation strategy was needed because disease events were rare during a growth cycle. This was similar to the status quo observed in BC.

It was noted that the Canadian Food Inspection Agency (CFIA) was evaluating the different types of technologies capable of measuring a logarithmic reduction (3 $\log_{10}$ to 4 $\log_{10}$) of pathogens in bio-containment facilities for aquatic animals. Standards for bio-containment were now being established by DFO and CFIA. Effluent disinfection, one of the critical issues in British Columbia, might become a requirement.

It was noted that effluent was more expensive to treat when it included organic material. Use of a drum filter followed by a protein skimmer could reduce pathogens in the effluent before being released into the environment. There was concern about the practicality of filtering large volumes of water down to 21 microns, the industry standard of pre-filtration for UV treatment. Most participants agreed that if water was not pre-filtered to 21 microns, UV disinfection would not work properly. Nevertheless, drum filters at this pore size were not effective at high flows because they became plugged by zooplankton and phytoplankton that could not be backwashed from the filter.

One participant mentioned that the shellfish aquaculture industry dealt with high quality water influent and effluent. This industry involved algae culture and planktonic larval stages that absorbed micro-nutrients. This information might validate the use of 21

des écloseries en eau douce ne présentent aucun pou de poisson. Les poux pourraient être transmis par l'eau d'arrivée, ce qui est traitable. Un participant a souligné que le traitement médicamenteux administré aux poissons pourrait aider à réduire la transmission de l'agent pathogène.

Un des résultats du document scientifique était qu'une stratégie de mitigation minimale était nécessaire étant donné la rareté des maladies pendant le cycle de croissance. Cette conclusion rejoignait le statu quo observé en C.-B.

Il a été signalé que l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) évaluait les divers types de technologies capables de mesurer une réduction logarithmique (de 3 $\log_{10}$ à 4 $\log_{10}$) des pathogènes dans des installations de bioconfinement pour animaux aquatiques. Des normes de bioconfinement ont été établies par le MPO et l'ACIA. La désinfection à l'effluent, l'un des principaux enjeux en Colombie-Britannique, pourrait devenir une exigence.

Il a été noté que le traitement à l'effluent était plus coûteux lorsqu'il y avait des matières organiques. L'utilisation d'un filtre à tambour puis d'un écumeur de protéine pourrait réduire le nombre de pathogènes à l'effluent avant leur libération dans l'environnement. Il restait à voir s'il serait pratique de filtrer de grands volumes d'eau à 21 microns, les normes de pré-filtration de l'industrie en traitement UV. La plupart des participants étaient d'accord que, si l'eau n'était pas préfiltrée à 21 microns, la désinfection par rayons UV ne serait pas aussi efficace. Les filtres à tambour n'étaient effectivement pas efficaces à cette taille lorsque les flux étaient importants, car ils étaient alors obstrués par le zooplancton et le phytoplancton qui ne pouvait être lavé à contrecourant du filtre.

Un participant a mentionné que l'industrie d'aquaculture des mollusques et crustacés utilisait de l'eau de grande qualité en influent et en effluent. Cette industrie utilise des cultures d'algues et des larves de plancton qui absorbent les micronutriments. Ces

micron filters.

There was discussion of treating effluent with ozone. The capital cost for an ozone generator and equipment would be about $0.5M. Using ozone for treatment would be cost efficient and the generation of particulate matter would not be an issue. It would be worth investigating if a 3 $\log_{10}$ reduction in pathogens would be possible before encountering negative impacts of ozonation, such as release of bromine.

Another treatment mentioned to replace ozone for effluent disinfection was the potential use of peracetic acid. Peracetic acid broke down to acetic acid, water, and oxygen and did not leave harmful residuals.

A reviewer noted that because there were both beneficial and pathogenic bacteria, could influent water be considered as too clean? There were several examples in the literature where algae treatment in a shellfish facility was found to be detrimental to shellfish growth. It was surmised that the treatment likely destroyed the good planktonic organisms in the food.

Some reviewers noted that the most complete disruption of pathogen exchange between a closed-containment facility and the external environment was likely only possible in a land-based recirculation system where the volumes of influent and effluent water would be small enough to permit a more sophisticated approach to disinfection. Particulate filtration and UV-disinfection did not appear realistic for the flow-rates of floating or land-based flow-through systems.

There was agreement amongst participants that strain selection might be a good preventive strategy to avoid disease and stress. It was mentioned that this approach was used in Norway and could be a possibility for Canada.

données pourraient préconiser l'utilisation de filtres de 21 microns.

Il a été question de traiter l'effluent à l'ozone. Le coût en capital d'un ozoneur et de l'équipement nécessaire serait d'environ 0,5 M $. L'utilisation d'ozone comme traitement serait efficient et ne risquerait pas de générer des matières particulaires. Il serait bon d'évaluer si une réduction de 3 $\log_{10}$ d'agents pathogènes serait possible avant que l'ozonisation n'ait de répercussions négatives, comme la libération de bromures.

Un autre traitement potentiel mentionné comme remplacement à l'ozone dans la désinfection de l'effluent était l'acide peracétique. Cet acide se transforme en acide acétique, en eau et en oxygène et ne laisse aucun résidu nocif.

Un examinateur a demandé si l'influent pourrait être trop sain s'il contenait à la fois des bactéries bénéfiques et des agents pathogènes. La documentation donne plusieurs exemples montrant qu'un traitement à base d'algues dans une installation d'élevage de mollusques et de crustacés s'est révélé nuisible à la croissance de ces derniers. On en a conclu que le traitement détruisait probablement le plancton bénéfique dans les aliments.

Certains examinateurs ont remarqué que l'échange de pathogènes entre un parc clos et l'environnement externe ne pouvait sans doute être réduit le plus possible que dans un système terrestre à recirculation d'eau où les volumes d'influent et d'effluent seraient assez faibles pour permettre une approche plus sophistiquée à la désinfection. La filtration de matières particulaires et la désinfection par rayons UV ne semblaient pas réalistes pour le taux de débit des systèmes terrestres ou flottants à circulation d'eau continue.

Les participants s'entendaient pour dire que la sélection de souches serait une bonne stratégie de prévention pour éviter les maladies et le stress. Il a été mentionné que cette approche a été suivie en Norvège et pourrait être mise en place au Canada.

There was also agreement that closed containment would allow bath treatments for disease. However, the safe disposal of treatment water would need to be included in any evaluation of cost-effectiveness. Ozone and activated charcoal would be able to break down treatment chemicals. This type of post-treatment would not be possible with net pens.

Les participants étaient aussi d'accord avec le fait que les parcs clos permettraient des traitements par bains dans les cas de maladie. Cependant, il faut évaluer l'efficience du rejet sécuritaire de l'eau de traitement. L'ozone et le charbon de bois activé pourraient décomposer les produits chimiques du traitement. Ce type de post-traitement ne serait pas possible dans les enclos en filet.

6. Conceptual Integrated Closed Confinement Systems
Author: John Colt
Rapporteur: Boumy Sayavong

6. Concepts de système integré d'élevage en parcs clos
Auteur : John Colt
Rapporteur : Boumy Sayavong

This paper evaluated the resource and energy requirements of five types of production systems: (a) conventional net pen, (b) floating closed-containment systems with rigid walls, (c) floating closed-containment systems with flexible walls, (d) a land-based flow-through system, and (e) a land-based complex reuse system. The production of all systems was assumed to be 2500 tonnes/cycle. The complex reuse system was stocked with smolts three times a year; all other systems were stocked once and all the fish harvested at the end of the production cycle followed by a 60-day fallow period.

Le présent rapport évalue les besoins en matière de ressources et d'énergie associés à cinq types de systèmes de production : (a) enclos en filet classiques; (b) systèmes d'élevage en parcs clos à parois rigides; (c) systèmes d'élevage en parcs clos à parois souples; (d) systèmes terrestres à circulation d'eau continue; (e) système terrestre à recirculation. L'objectif de production pour l'ensemble de ces systèmes a été établi à 2 500 tonnes/cycle. Le système terrestre à recirculation a été peuplé de saumoneaux trois fois par année; tous les autres systèmes ont été peuplés une fois, et tous les poissons ont été récoltés à la fin du cycle de production, lequel a été suivi d'une période en jachère de 60 jours.

The energy use of these ten culture options was evaluated in terms of direct, indirect, and transportation energy. The energy required for feeding, maintenance, pumping, water treatment, aeration, temperature adjustment, and transportation was estimated. The contribution of fixed capital was allocated to each option based on the mass of steel, aluminium, plastics, and wood contained; expected life; and energy density values. The mass of greenhouse gases was estimated from the energy consumption for each component and greenhouse emission factors.

La consommation d'énergie pour les dix scénarios d'élevage utilisés a été évaluée pour ce qui de l'énergie consommée directement et indirectement ainsi que de l'énergie utilisée pour le transport. La consommation d'énergie pour l'alimentation, l'entretien, le pompage, le traitement de l'eau, l'aération, la régulation des températures et le transport a été estimée. La contribution des capitaux immobilisés a été attribuée à chaque option en fonction de la masse d'acier, d'aluminium, de plastiques et de bois, de la durée de vie prévue et de la densité énergétique. La masse des gaz à effet de serre a été estimée à partir de la consommation énergétique de chaque composant et de facteurs d'émission de gaz à

For a single farm, the total energy used ranged from 199 to 1576 TJ/cycle. The total greenhouse gas emission varied from 11 000 to 104 000 tonnes/cycle. The amount of solids/cycle varied from 57 000 kg for the complex reuse system to 1 067 000 kg for the conventional net pen. In terms of energy efficiency, the three best performing systems were the conventional net pen (9.13%), the closed-containment system with flexible walls, pure oxygen aeration (8.34%), and the closed-containment system with rigid walls, pure oxygen aeration (7.03%). The selection of the "best" system may require trade-offs between the different performance measures selected for this analysis.

DISCUSSION

Reviewers felt that the many assumptions in the paper were reasonable. They understood the difficulty of making projections on large-scale systems that had never been assembled and the need to make assumptions. Nevertheless, they thought that more analysis was required to verify assumptions. The analysis would include: a sensitivity analysis to assess the importance of input parameters; a life-cycle analysis of equipment, including material failure and disposal; and, explicit analysis of transport requirements, energy efficiency of standby power and back-up equipment and fallowing within each system.

Three significant parameters would affect production in a net pen, namely mortality, FCR, and growth rates. Any changes in their assumed values would affect the results. It was considered reasonable to choose 10% for an estimate of mortality without better information. Nevertheless, participants felt that it would be more useful to use a range of values and to estimate sensitivity of each parameter.

effet de serre.

Pour chaque ferme, l'énergie totale utilisée variait de 199 à 1 576 TJ/cycle. Le total des émissions de gaz à effet de serre a varié de 11 000 à 104 000 tonnes/cycle. La quantité de solides/cycle a varié de 57 000 kg pour les systèmes à eau recyclée à 1 067 000 kg pour les enclos en filet classiques. Sur le plan de l'efficacité énergétique, les trois systèmes ayant affiché le meilleur rendement ont été l'enclos en filet classique (9,13 %), le système d'élevage en parcs clos à parois souples et à injection d'oxygène pure (8,34 %) ainsi que le système d'élevage en parcs clos à parois rigides et à injection d'oxygène pure (7,03 %). Le choix du « meilleur » système nécessitera vraisemblablement des compromis entre les divers paramètres de rendement retenus dans le cadre de la présente analyse.

DISCUSSION

Selon les examinateurs, les nombreuses hypothèses mentionnées dans le document étaient raisonnables. Il y avait une bonne compréhension de la difficulté à faire des projections relatives à des systèmes à grande échelle n'ayant jamais été assemblés et du besoin de faire des suppositions. Néanmoins, il leur semblait qu'une analyse plus approfondie serait nécessaire pour valider ces hypothèses. L'étude comprendrait : une analyse de sensibilité pour évaluer l'importance des paramètres entrants; une analyse du cycle de vie de l'équipement, y compris les défaillances et la mise au rebut du matériel; et une analyse explicite des critères de transport, de l'efficacité énergétique de l'alimentation et de l'équipement de secours ainsi que de la jachère dans chaque système.

Trois importants paramètres influeraient sur la production dans un enclos en filet, soit la mortalité, l'indice de transformation alimentaire et les taux de croissance. Toute variation de leurs valeurs présumées influerait sur les résultats. Il semblait raisonnable de déterminer à 10 % l'estimation du taux de mortalité sans meilleure information. Cependant, les participants étaient d'avis qu'il serait préférable d'utiliser une plage de

valeurs et de déterminer la sensibilité à chaque paramètre.

It was considered important to look at the life cycle and energy content of building materials. The useful life of equipment was an essential dimension of determining the energy content in the finished product.

Il a été tenu comme important d'évaluer le cycle de vie et le contenu en énergie du matériau de construction. La durée de vie utile de l'équipement était un élément essentiel dans l'établissement du contenu en énergie du produit fini.

Reviewers and participants agreed that Environmental Cost Accounting (ECA) was an established field of study and could be done in order to understand the true impacts of all of these approaches. ECA could be part of any subsequent economic analysis and might result in significant changes in the current ranking of technologies.

Les examinateurs et les participants étaient d'accord que la comptabilisation des coûts environnementaux était un domaine établi de l'étude et pourrait être effectuée pour comprendre les répercussions réelles de toutes ces approches. La comptabilisation des coûts environnementaux pourrait faire partie de toute analyse économique subséquente et entraîner d'importants changements dans le classement actuel des technologies.

One reviewer was surprised to see how little energy was required for transportation in net pens. From his experience, net pen systems required much work with boats. The author agreed that most net pen facilities used barges to bring in feed, usually 200 tons at a time; however this process required little energy. In fact, he found that barge energy was one of the lowest costs.

Un examinateur a été surpris de constater le peu d'énergie nécessaire au transport dans les enclos en filet. D'après son expérience, les enclos en filet nécessitent beaucoup de travail avec les bateaux. L'auteur mentionnait effectivement que la plupart des enclos en filet utilisaient des barges pour apporter les aliments, généralement 200 tonnes à la fois, mais que ce procédé nécessitait peu d'énergie. En fait, il a précisé que l'énergie consommée par la barge était l'un des plus faibles coûts.

Net pens had the highest discharge of solid waste; the re-use system had the lowest discharge. Over 90% of solids could be removed with current technology. Nevertheless, a large portion of nitrogen and phosphorus was soluble and would not be addressed in any closed system. Apparently there was only one re-use facility in the United States with nutrient removal. Because the potential for removing dissolved nutrient was unknown, dissolved nitrogen and phosphorous were ignored in the calculations.

Les enclos en filet présentaient le plus grand taux de rejet de déchets solides, et le système de réutilisation, le plus faible. Plus de 90 % des solides pouvaient être retirés avec la technologie actuelle. Cependant, une grande partie de l'azote et du phosphore est soluble et ne serait pas tenue en compte dans un parc clos. Apparemment, les nutriments n'étaient retirés que dans une seule installation de réutilisation aux États-Unis. Comme on ignore le potentiel de retrait des nutriments dissous, les calculs n'ont pas tenu compte de l'azote et du phosphore dissouts.

It was agreed that it would be difficult to rank priority among energy consumption,

Tous s'entendaient sur le fait qu'il serait difficile d'établir la priorité entre la

greenhouse gas production and pollution (BOD, N and P) because these factors depend upon the location.

Some participants thought the paper lacked a discussion of the potential for energy generation from fish waste. Others thought that it would be informative for the models to factor in a fouling period.

Some participants mentioned that it was incorrect to assume that all flow-through systems would require power from diesel generation as a number of them could be located with access to the power grid.

Other comments made by participants included:

1) Closed systems needed to be built with back-ups otherwise insurance companies would not support them.
2) Reclamation of heat would help lower the costs.
3) Embedded energy in materials was not included in disposal costs.
4) Better understanding of the formulation of feeds was needed because it was an important part of energy costs.
5) Net cages were well understood but the other systems had a wide range of variability that was unknown.
6) Risk analysis with costs would be a useful approach.
7) Socio-economic considerations were not considered.

consommation d'énergie, la production de gaz à effet de serre et la pollution (D.B.O., azote et phosphore), car ces facteurs dépendent de l'emplacement.

Certains participants étaient d'avis que le document ne laissait pas assez place à une discussion sur la production potentielle d'énergie par les déchets de poissons. D'autres croyaient qu'il serait instructif que les modèles comprennent une période de biosalissure.

Certains participants ont mentionné qu'il était incorrect de présumer que tous les systèmes à circulation d'eau continue nécessiteraient de l'énergie produite par un système au diesel, car nombre d'entre eux pourraient comprendre un accès au réseau électrique.

Voici d'autres commentaires des participants :

1) Les parcs clos doivent être construits avec de l'équipement de secours, sinon les compagnies d'assurance ne les couvriraient pas.
2) La récupération de chaleur aiderait à réduire les coûts.
3) L'énergie contenue dans les matériaux n'était pas comprise dans les coûts de mise au rebut.
4) Une meilleure compréhension de la composition des aliments était nécessaire, étant une partie importante des coûts en énergie.
5) Les enclos en filet étaient bien compris, mais les autres systèmes avaient un haut degré de variabilité, qui était inconnu.
6) Il serait utile d'effectuer une analyse des risques liée aux coûts.
7) On n'a pas tenu compte des paramètres socio-économiques.

RESEARCH RECOMMENDATIONS

1. Methods are needed on how to assign values to environmental service costs so that comparisons can be made between different aquaculture systems and even different forms of food production.
2. There is a need to research existing successful RAS technologies for raising fish other than Atlantic Salmon and to see if they can be applied economically to commercial scale Atlantic Salmon production. The analysis would include the possibility of raising Atlantic Salmon in brackish or fresh water.
3. More research is needed in the field of floating, flow-through bag systems to see if past failures related to mechanics and materials can be overcome.
4. Need to establish the specific environmental impacts from net pen systems and various closed-containment technologies to clarify what issues future closed-containment technologies should be addressing.
5. Determine safe pH, un-ionized ammonia and CO_2 criteria: determine cumulative oxygen consumption criteria for marine applications of diffused aeration and pure oxygen systems.
6. Document impacts of low dissolved oxygen on growth, mortality and food conversion ratios (FCR).
7. Develop economic technology for the treatment and disposal of saline waste.
8. Document the reliability and performance of low-head high-volume pumps for marine systems.
9. Document the performance of diffused aeration and pure oxygen systems for

RECOMMANDATIONS EN MATIÈRE DE RECHERCHE

1. Il faut établir des méthodes pour attribuer des valeurs aux frais de service environnementaux, afin de pouvoir comparer les divers systèmes d'aquaculture et même les divers types de production d'aliments.
2. Il faut évaluer la capacité des systèmes aquacoles à recirculation actuels à soutenir un élevage d'autres poissons que du saumon atlantique et déterminer s'ils peuvent convenir, sur le plan économique, à la production de ce type de poisson à l'échelle commerciale. L'analyse doit comprendre la possibilité d'élever le saumon atlantique en eau saumâtre ou en eau douce.
3. Des études plus poussées sur les systèmes avec sacs flottants à circulation d'eau continue sont nécessaires pour déterminer si les défaillances passées relatives à la mécanique et au matériel peuvent être corrigées.
4. Il faut déterminer les répercussions environnementales des systèmes d'enclos en filet et des divers types de parcs clos pour mieux comprendre quels enjeux relatifs à de tels systèmes devraient êtres examinés dans le futur.
5. Il faut établir le pH et les taux d'ammoniaque non ionisé et de CO_2 sécuritaires ainsi que la consommation cumulative d'oxygène pour les systèmes marins d'aération par diffusion d'air et de libération d'oxygène pur.
6. Noter les répercussions du faible taux d'oxygène dissout sur la croissance, la mortalité et l'indice de transformation alimentaire.
7. Mettre au point une technologie économique pour le traitement et le rejet des eaux usées salines.
8. Noter la fiabilité et le rendement des pompes à faible capacité de refoulement et à fort débit pour les systèmes marins.
9. Noter le rendement des systèmes d'aération par diffusion d'air et

large-scale marine applications.

10. Document the performance of dual drain and solids collection systems for closed containment.
11. Develop stocking density criteria for closed containment and impacts on growth rate, mortality and FCR.
12. Develop a paper to discuss the key production parameters required for rearing salmon from the perspective of aquaculture veterinarians.
13. There needs to be research into the potential for fish waste recovery, including mortalities, through bio-gas production.
14. Opportunities for flow-through systems to be connected to the power grid should be investigated to establish potential capacity.
15. Strain selection might be a good preventive strategy to avoid disease and stress. This approach is used in Norway and it is a possibility for Canada.
16. Opportunities for alternative management/control are provided with closed-containment systems. For example, sea lice may be avoided by drawing influent from greater depth.
17. The frequency of diseases associated with opportunistic pathogens (production diseases) that may be related to the intensive farming practices of closed containment need to be further investigated.
18. More research is needed on the effect of CO_2, nitrate, ammonia and heterotrophic bacteria concentration on the growth of post smolts.
19. Densities may influence feeding rate, growth rate and size variation. More research is required to investigate responses to higher densities in closed-containment systems.
20. There needs to be a more critical evaluation of the potential for freshwater closed-containment

d'oxygène pur pour les systèmes marins à grande échelle.

10. Noter le rendement des systèmes de double drainage et de collecte de solides pour les parcs clos.
11. Établir les critères de densité des populations pour les parcs clos ainsi que les répercussions sur le taux de croissance, le taux de mortalité et l'indice de transformation alimentaire.
12. Rédiger un document traitant des paramètres de production clés nécessaires pour l'élevage du saumon, selon les vétérinaires en aquaculture.
13. Il faut étudier le potentiel de récupération des déchets de poissons, entre autres les mortalités, par la production de biogaz.
14. Les possibilités de raccorder les parcs à circulation d'eau continue au réseau électrique doivent être étudiées pour déterminer la capacité potentielle.
15. La sélection de souches peut être une bonne stratégie de prévention pour éviter les maladies et le stress. Cette approche est suivie en Norvège et pourrait l'être au Canada aussi.
16. Les parcs clos offrent une autre option de gestion et de contrôle. Par exemple, on peut éviter les poux de poisson en tirant l'influent d'eaux plus profondes.
17. Il faut étudier de façon plus poussée la fréquence des maladies associées à des pathogènes opportunistes (maladies de production) qui peuvent être liées aux pratiques intensives d'élevage dans des parcs clos.
18. Des études plus poussées des effets du CO_2, des nitrates, de l'ammoniaque et de la concentration de bactéries hétérotrophes sur la croissance des postsaumoneaux sont nécessaires.
19. La densité peut influer sur la fréquence d'alimentation, la vitesse de croissance et la variation de taille. De plus amples études sont nécessaires pour évaluer les réponses à de plus fortes densités de population dans les parcs clos.
20. Il faut effectuer une évaluation plus poussée du potentiel d'aquaculture du saumon atlantique en parcs clos en eau

aquaculture for Atlantic Salmon. Coho and Sockeye Salmon are raised in fresh water. Low salinity water has many additional advantages for closed containment such as the ability to use ozone disinfection but introduces the problems of fungal infections in soft water. Brackish water (10 ppt) can mitigate this problem. Would more antibiotic treatment be required at higher densities? What would be the impact of medication on fish performance?

21. Optimization of swimming velocity may improve growth rate and feed conversion. This aspect may be confounded by a density effect, water clarity and other conditions and requires more research.

22. Need further work to assess the animal welfare aspects of density. In the EU guidelines for crowding are lower than 80 kg/m^3. However, this debate needs to be balanced by the potential benefits of keeping fish in pens.

23. The energy efficiency of floating flow-through systems is sensitive to pumping head and pump efficiency. An engineering analysis should be done on how to design for and maintain optimum performance.

douce. Le saumon coho et le saumon rouge sont élevés en eau douce. L'eau de faible salinité a de nombreux autres avantages pour les parcs clos, tels que la possibilité de recourir à la désinfection à l'ozone, mais est associée au problème d'infections fongiques en eau douce. L'eau saumâtre (10 ppt) peut aider à résoudre ce problème. Un traitement antibiotique plus étendu serait-il nécessaire en cas de plus forte densité? Quelles seraient les répercussions des médicaments sur le rendement des poissons?

21. L'optimisation de la vitesse de déplacement peut favoriser la croissance et la transformation alimentaire. Cet élément peut varier selon la densité, la clarté de l'eau et d'autres conditions et devrait donc faire l'objet d'analyses plus poussées.

22. Plus de travail est nécessaire pour évaluer les répercussions de la densité sur le bien-être des animaux. Les lignes directrices de densité de l'UE sont inférieures à 80 kg/m^3. Cependant, ce débat doit être contrebalancé par les bienfaits potentiels de l'élevage des poissons en enclos.

23. L'efficacité énergétique des systèmes flottants à recirculation d'eau continue dépend de la pompe et de l'efficacité de celle-ci. Une analyse d'ingénierie doit être faite pour déterminer comment obtenir et maintenir un rendement optimal.

APPENDIX 1: Steering Committee	ANNEXE 1 : Comité directeur
Mike Chadwick, DFO Science, Moncton, NB / MPO Sciences, Moncton, NB	
Jay Parsons, DFO Science, Ottawa	
Boumy Sayavong, DFO Science, Ottawa	
Steve MacDonald, DFO Science, CAER, BC	
Mark Burgham, DFO AMD, Ottawa	
Andrew Thomson, DFO Aquaculture Management, BC	
Al Castledine, BC MAL, Victoria, BC	
Bill Harrower, BC MAL, Courtenay, BC	
David Lane, T. Buck Suzuki Environmental Foundation	
Clare Backman, Marine Harvest	
Ruth Salmon, Canadian Aquaculture Industry Alliance	
Tony Farrell, UBC CAER, Vancouver, BC	
Richard Hardy, Courtenay, BC	
John Colt, NOAA – NMFS, Seattle, WA	
John Lawrie, Marine Harvest Representative	
Jon Chamberlain, DFO, Science, Sydney, BC	
Ed Porter, DFO AMD, Ottawa	
Stewart Lindale, DFO AMD, Ottawa	

APPENDIX 2: Terms of Reference

National Workshop
Potential Technologies for Closed-containment Saltwater Salmon Aquaculture

January 29 – 31, 2008
Sidney, BC

Chair: Mike Chadwick

The purpose of the workshop is to develop and provide scientific advice on the status of salt water closed-containment technologies. Closed-containment is a barrier technology that attempts to restrict and control interactions between farmed fish and the external aquatic environment with the goal of minimizing impacts and creating greater control over factors beneficial to aquaculture production.

The documentation from this inclusive process will inform the Fisheries and Oceans Canada regarding possible investment of public funds in closed-containment technology development as it may be applied to commercial-scale salmon aquaculture. It will also serve to inform other interested parties on alternative rearing technologies.

The Department believes that current best practices have improved the environmental performance of salmon farming in Canada. In initiating this review, the Department recognizes the importance of continuous innovation and is taking steps to review technologies, approaches and systems that could provide further improvements to current practices.

Context

Closed-containment technology is being proposed as an alternative for salmon aquaculture because it is perceived that it may reduce escapes, control deposition/dispersal of solid and dissolved wastes, and reduce interaction with wild fish and marine mammals (Table 1).

Table 1. List of issues

Aquaculture input issues	Aquaculture output issues	Other contingent issues
Parasites	Parasites	Seals and Sea Lions
Pathogens	Pathogens	Fiscal Economics
Energy		Algal blooms
Feed	Escapees	
Water quality	Water quality	
Oxygen	CO2	
	Solid waste	
	Soluble waste	

Currently, there are no commercial-scale, closed-containment systems for salmon aquaculture in the marine environment. However, various components of closedcontainment technologies have been developed to try to address a number of specific concerns (Table 1). Even so, there is an inherent difficulty in evaluating these new technologies in an integrated fashion because no standards have been established and there is limited information on past performance of the technologies. In addition, it is critical that the performance of a closed-containment system is evaluated within a commercial production scale (~ 1,000 – 3,000 metric tonnes).

Specific Objectives of the Workshop:

1) To define the strengths and weaknesses of various system designs and technologies in the context of potential use for commercial-scale, closedcontainment rearing of salmon;

2) To identify performance parameters and criteria for design evaluation, biological and ecological performance, associated cost (capital and variable) and logistic support;

3) To document and assess current technologies that can be used for each unit process (component) and to evaluate how each technology affects the dynamics of the system;

4) To evaluate what unit processes are required to provide the water quality conditions to optimise fish growth and welfare, while minimizing impact to the external aquatic environment;

5) To provide technical background to aid in system integration and experimental design for future research and pilot projects;

6) To develop a "gap-analysis" that might be used to assess future closed-containment research needs; and

7) Create dialogue with industry, ENGOs, governments, First Nations and academia.

To help meet the objectives of the workshop, six technical working papers will be prepared prior to the workshop: (See Annex for more details)

1) Review of past experiences.

This review would cover all technologies in a complete system that have been tried in the past and would evaluate both biological and ecological performance. Some of the information will be from land-based salt-water aquaculture or systems that use pumped sea water. There is not a lot of information. There are some operating salt water systems in Europe. E.g. pump ashore turbot farms in Spain as well as past pump ashore projects in Scotland, Norway, Iceland and Canada. Information from pilot projects utilising Future Sea technology would be included as would recirculation systems developed for salmonid production since many parts of this process work equally in freshwater and saltwater systems. Aquaria technology and systems developed for other fish species may be included where deemed relevant, but in general, the focus would be on systems developed for salmonid culture at commercial scale.

2) Conduct an engineering evaluation of the design and operation of closed-containment systems.

Focus would be a comparison of existing structures that would include, design, operation, structural integrity, construction, installation and other engineering considerations such as escape prevention, predator avoidance, mechanical performance, pump intakes, waste capture and biofouling. Ease of operation to allow for routine operation process such as fish handling, grading and harvesting would be included. Performance evaluation should consider downstream costs where applicable e.g. antifouling treatment.

3) Conduct a comparative analysis of the biological requirements for salmonid production at a range of densities in closed-containment systems.

The aspects to be considered would include feed quantity and quality, feed conversion, rearing densities, growth, water temperature, oxygen requirements. This analysis would provide insight to what might be reasonable upper densities for salmonid production as well as the most likely operating growth models. Describe the requirements for keeping fish alive and the densities that are required to be economically viable. Are there benefits to keeping fish in closed systems? Need to design systems that will be effective at commercially viable densities.

4) Conduct an engineering evaluation of the unit process technologies to maintain water quality for optimal fish growth and fish health. The following unit processes are gas management control systems, solid and soluble waste removal systems, disinfection systems, backup systems and culture tanks.

This review paper will be bounded by the conditions set in papers 2 and 3 above. Suspended solids and the far field effects of containment waste should also be discussed.

5) Assess and review the potential transmission of pathogens and parasites between closed-containment systems and the external environment.

The assessment would examine a broad range of strategies that could be used to mitigate the transmission include location of water intake, disinfection, therapeutant treatment vaccination and fish husbandry. Information on water remediation techniques exist for ballast water and the containment of invasive organisms and so some of this information may be pertinent

6) Using the results of the five papers above, conceptualize a series of integrated systems that could be considered in the development of a pilot project or model farm.

The analysis would decide what components or processes should be included and how the unit processes would function as an integrated system. It would examine a range of levels for mitigation of environmental impacts as well as a range of levels of commercial production capacity. Various cost estimates would be developed along with estimates of energy footprint.

Each working paper should take into consideration and examine as it related to their topic: the available technologies; the advantages and disadvantages of these technologies with regard to water quality and fish performance, the design and operation; the capital and operating costs as they relate to scale of application; and, the ability to integrate efficiently into a culture system.

Outputs of the Workshop

The documentation produced from this workshop will be: a Science Advisory Report that summarizes the main conclusions of the meeting; a Proceedings Document that summarizes the main points raised at the meeting and a critical evaluation of the working papers; and a series of Research Documents that will outline the provided scientific and technical details.

ANNEXE 2 : Cadre de reference

Atelier national
Les techniques potentielles de salmoniculture en parc clos et en eau de mer

Du 29 au 31 janvier 2008
Sidney, C.-B.

Président : Mike Chadwick

Le but de l'atelier est d'élaborer et de fournir un avis scientifique concernant l'état des techniques d'élevage en parc clos et en eau de mer. Le parc clos est une technique de confinement par laquelle on tente de limiter et de régir les interactions entre les poissons d'élevage et l'environnement aquatique externe afin de limiter les effets et de mieux maîtriser les facteurs bénéfiques à la production aquicole.

La documentation associée à ce processus inclusif éclairera Pêches et Océans Canada en ce qui concerne l'investissement possible de fonds publics dans le développement de techniques de confinement afin qu'elles puissent être appliquées à la salmoniculture commerciale. Elle servira également à informer d'autres parties intéressées sur d'autres techniques d'élevage.

Le Ministère estime que les pratiques exemplaires actuelles ont amélioré le rendement environnemental de la salmoniculture au Canada. En lançant cet examen, le Ministère reconnaît l'importance de l'innovation continue et prend des mesures afin d'examiner les techniques, les approches et les systèmes qui pourraient améliorer les pratiques actuelles.

Contexte

On propose la technique du parc clos comme solution de rechange pour la salmoniculture, car on estime qu'elle peut réduire les échappées, limiter le dépôt/la dispersion des déchets solides et dissous et diminuer l'interaction avec les poissons sauvages et les mammifères marins (tableau 1).

Tableau 1 – Liste des enjeux

Enjeux liés aux intrants de l'aquaculture	**Enjeux liés aux extrants de l'aquaculture**	**Autres enjeux éventuels**
Parasites	Parasites	Phoques et lions de mer
Agents pathogènes	Agents pathogènes	Économie fiscale
Énergie		Proliférations d'algues
Nourriture	Échappées	
Qualité de l'eau	Qualité de l'eau	
Oxygène	CO2	
	Déchets solides	
	Déchets solubles	

Il n'existe actuellement aucun système clos d'application commerciale pour la salmoniculture en milieu marin. Cependant, on a mis au point divers composants de parcs clos pour essayer de répondre à un certain nombre de préoccupations (tableau 1). Malgré cela, il demeure difficile de procéder à l'évaluation intégrée de ces nouvelles techniques du fait qu'aucune norme n'a été établie et que l'information concernant le rendement passé de ces techniques est limitée. En

outre, il faut que le rendement des systèmes clos soit évalué dans un contexte de production commerciale (~ 1 000 à 3 000 tonnes métriques).

Objectifs de l'atelier

1) Définir les forces et les faiblesses de divers systèmes et techniques dans le contexte de leur utilisation potentielle pour l'élevage de saumons en parc clos à l'échelle commerciale.

2) Relever les paramètres de rendement et les critères à utiliser pour l'évaluation des concepts, du rendement biologique et écologique, des coûts connexes (dépenses d'immobilisations et coûts variables) et du soutien logistique.

3) Consigner par écrit et évaluer les techniques actuelles qui peuvent s'appliquer à chaque processus (composante) et évaluer l'incidence de chaque technique sur la dynamique du système.

4) Établir quels sont les processus nécessaires pour assurer la qualité de l'eau afin d'optimiser la croissance et le bien-être des poissons, tout en limitant les effets sur l'environnement aquatique externe.

5) Fournir un contexte technique pour faciliter l'intégration du système et la planification expérimentale pour la recherche future et les projets pilotes.

6) Élaborer une « analyse des écarts » que l'on pourra utiliser pour évaluer les besoins futurs concernant la recherche sur la pisciculture en parc clos.

7) Instaurer un dialogue avec l'industrie, les ONG en environnement, les différents paliers gouvernementaux, les Premières nations et le milieu universitaire.

Afin de faciliter l'atteinte des objectifs de l'atelier, six documents de travail techniques seront préparés avant l'atelier (voir l'annexe pour plus de détails).

1) Examen des expériences passées.

Cet examen couvrira toutes les techniques d'un système complet qui ont été essayées par le passé et en évaluera le rendement biologique et écologique. Certaines des données proviendront de systèmes terrestres en eau de mer ou de systèmes avec pompage d'eau de mer. Peu de données sont disponibles. Un certain nombre de systèmes en eau de mer sont opérationnels en Europe. C'est le cas des élevages de flétan noir avec pompes à terre en Espagne de même que des anciens projets avec pompes à terre en Écosse, en Norvège, en Islande et au Canada. Le document inclura de l'information issue des projets pilotes utilisant la technologie Future Sea ainsi que de l'information sur les systèmes de recirculation mis au point pour la production de salmonidés, puisque de nombreuses parties de ce système fonctionnent aussi bien en eau douce qu'en eau de mer. Les techniques et les systèmes en aquariums, mis au point pour d'autres espèces de poissons, peuvent être inclus s'ils sont jugés pertinents, mais on se concentrera généralement sur les systèmes mis au point pour la salmoniculture commerciale.

2) Réaliser une évaluation technique de la conception et du fonctionnement des systèmes clos.

Ce document comparera les structures en place, y compris la conception, le fonctionnement, l'intégrité structurelle, la construction, l'installation et d'autres considérations techniques, comme

la prévention des échappées, la protection contre les prédateurs, le rendement mécanique, les points de pompages, le captage des déchets et l'encrassement biologique. Il traitera aussi de la facilité d'utilisation des systèmes dans le cadre des opérations de routine, comme la manipulation, le classement et la récolte des poissons. L'évaluation du rendement doit tenir compte des coûts ultérieurs applicables, comme ceux associés au traitement contre l'encrassement biologique.

3) Réaliser une analyse comparative des exigences biologiques de la production de salmonidés selon diverses densités dans des systèmes clos.

Les aspects à considérer incluent la quantité de nourriture et sa qualité, la valorisation des aliments, les densités d'élevage, la croissance, la température de l'eau et les besoins en oxygène. Cette analyse donne un aperçu des densités supérieures qui pourraient être raisonnables pour la production de salmonidés ainsi que des modèles de croissance opérationnels les plus probables. Décrire les exigences à respecter pour garder les poissons en vie de même que les densités requises pour que le système soit viable sur le plan économique. Est-il avantageux de garder les poissons dans des systèmes clos? Il faut concevoir des systèmes qui seront efficaces à des densités viables à l'échelle commerciale.

4) Réaliser une évaluation technique des processus qui maintiennent la qualité de l'eau pour une croissance et une santé optimales des poissons. Ces processus sont les systèmes de gestion des gaz, les systèmes de captage des déchets solides et solubles, les systèmes de désinfection, les systèmes de secours et les réservoirs de culture.

Ce document de synthèse sera rédigé selon les conditions établies dans les documents 2 et 3 ci-devant. Les solides en suspension et les effets à distance des déchets provenant des parcs clos devront également être analysés.

5) Évaluer et examiner la transmission potentielle d'agents pathogènes et de parasites entre les systèmes clos et l'environnement externe.

L'évaluation portera sur un vaste éventail de stratégies qui pourraient être utilisées pour atténuer la transmission, y compris l'emplacement de la prise d'eau, la désinfection, les traitements thérapeutiques (vaccination) et les méthodes d'élevage. Des renseignements concernant les techniques d'assainissement des eaux de ballast et le confinement des organismes envahissants sont disponibles, et il est possible que certains de ces renseignements soient pertinents.

6) À la lumière des conclusions des cinq documents ci-devant, conceptualiser une série de systèmes intégrés qui pourraient être utilisés dans un projet pilote ou un élevage modèle.

L'analyse décidera des composants ou des processus à inclure et de la façon dont ils s'agenceront en tant que système intégré. Elle portera sur un éventail de niveaux d'atténuation des effets environnementaux ainsi qu'un éventail de niveaux de capacité de production commerciale. Diverses estimations des coûts seront élaborées en conjonction des estimations relatives à l'empreinte énergétique.

Chaque document de travail doit tenir compte des éléments suivants et les traiter dans le contexte du thème étudié : les techniques disponibles; les avantages et les inconvénients de ces techniques en ce qui concerne la qualité de l'eau et le rendement des poissons; la conception et le fonctionnement; les dépenses d'immobilisations et les coûts d'exploitation selon l'échelle d'application; la possibilité d'une intégration efficace dans un système d'élevage.

Résultats de l'atelier

La documentation produite dans le cadre de cet atelier sera la suivante : avis scientifique résumant les principales conclusions de la réunion; un compte rendu résumant les principaux points soulevés à la réunion et présentant une évaluation critique des documents de travail; une série de documents de recherche qui passeront brièvement en revue les détails scientifiques et techniques étudiés.

APPENDIX 3: Agenda	ANNEXE 3 : Ordre du jour
Potential Technologies for Closed-containment Saltwater Salmon Aquaculture January 29th – 31st, 2008 Main floor Auditorium, IOS – DFO Sidney, BC Chairperson: Mike Chadwick	Techniques potentielles de salmoniculture en parcs clos et en eau de mer Du 29 au 31 janvier 2008 Rez-de-chaussée de l'auditorium, ISM – MPO Sidney (C.-B.) Président : Mike Chadwick
DAY 1 - January 29	JOUR 1 – 29 janvier
Registration	Inscription
Opening remarks *(Wendy Watson-Wright, Mike Chadwick)*	Mot de bienvenue *(Wendy Watson-Wright, Mike Chadwick)*
Paper 1: 30 min presentation; 1 hr Discussion	1er document : présentation 30 min; discussion 1 h
Break	Pause
Paper 1 (continue)	1er document (suite)
Lunch	Dîner
Paper 2: 30 min presentation; 1 hr Discussion	2e document : présentation 30 min; discussion 1 h
Break	Pause
Paper 3: 30 min presentation; 1 hr Discussion	3e document : présentation 30 min; discussion 1 h
Paper 4: 30 min presentation; 1 hr Discussion	4e document : présentation 30 min; discussion 1 h
Reception	Réception
DAY 2 - January 30	JOUR 2 – 30 janvier
Unresolved & Main Points from First Day	Points en suspens et points saillants du Jour 1
Break	Pause
Paper 5: 30 min presentation; 1 hr Discussion	5e document : présentation 30 min; discussion 1 h
Lunch	Dîner
Paper 6: 30 min presentation; 1 hr Discussion	6e document : présentation 30 min; discussion 1 h
Break	Pause
Unresolved & Main Points from Paper 5 and Paper 6	Points en suspens et points saillants des 5e et 6e documents
Prepare Draft Advisory Document	Préparation de l'ébauche du document consultatif
DAY 3 - January 31	JOUR 3 – 31 janvier
Draft Advisory Document	Ébauche du document consultatif
Break	Pause
Revise Advisory Document	Révision du document consultatif
Lunch	Dîner
Preparation of meeting summary	Préparation du résumé de la réunion
Break	Pause
Next Steps and Research Recommendations	Prochaines étapes et recommandations d'études

3:30 pm: Meeting Closes & Media Debrief	15 h 30 : Clôture de la réunion et récapitulation pour les médias

APPENDIX 4: Participants / ANNEXE 4 : Participants	
Clare Backman	clare.backman@marineharvest.com
Ruby Berry	ruby@georgiastrait.org
Chief Darren Blaney	darrenb@telus.blackberry.net
Edwin Blewett	edwin@gocounterpoint.com
Brian Brazil	BBrazil@PIRNIE.COM
Kathy Brewer	Kathy.E.Brewer@gnb.ca
Richard Buchanan	rbuchanan@sustainable-aquaculture.ca
Phil Byrnes	philip.byrne@dfo-mpo.gc.ca
Al Castledine	Al.Castledine@gov.bc.ca
Mike Chadwick	Michael.Chadwick@dfo-mpo.gc.ca
Jon Chamberlain	ChamberlainJ@dfo-mpo.gc.ca
John Colt	John.Colt@noaa.gov
Michel Couturier	cout@unb.ca
Sean Cox	spcox@sfu.ca
Tony Farrell	farrellt@interchange.ubc.ca
John Forster	jforster@olypen.com
David Fredriksson	fredriks@usna.edu
Arne Friedheim	Arne.Fredheim@sintef.no
Josh Goldman	josh@australis.us
Odd Grydeland	oddg@telus.net
Richard Hardy	richhardy@shaw.ca
Bill Harrower	Bill.Harrower@gov.bc.ca
Richard Harry	richard@aboriginalaquaculture.com
John Holder	jholder@island.net
Kerra Hoyseth	kerra.hoyseth@dfo-mpo.gc.ca
Henrik Krieberg	henrik.kreiberg@dfo.mpo.gc.ca
David Lane	davidlane@bucksuzuki.org
John Lawrie	jlh@telus.net
Stewart Lindale	stewart.lindale@dfo-mpo.gc.ca
Robin Lui	Robinlui886@yahoo.ca
Steve MacDonald	macdonaldst@dfo-mpg.gc.ca
Eric McGreer	Eric.Mcgreer@gov.bc.ca
David McKenzie	David.McKenzie@univ-montp2.fr
Scott McKinley	mckin@interchange.ubc.ca
Robert Mountain	RobertM@mttc.ca
James Muir	j.f.muir@stir.ac.uk
Gary Myers	consulting.myers@gmail.com
Fred Page	fred.page@dfo-mpo.gc.ca
Mia Parker	mparker@grieg.ca
Pamela Parker	parker@pacificsalmonforum.ca
Jay Parsons	Jay.Parsons@dfo-mpo.gc.ca
Tom Pinfold	tpinfold2@andara.com
Saleem Rahman	Saleem.Rahman@dfo-mpo.gc.ca
Don Rainnie	rainnie@upei.ca
David Randall	randall@zoology.ubc.ca
Teresa Ryan	ryantl@shaw.ca
Sonja Saksida	Sonja.saksida@cahs-bc.ca
Linda Sams	linda.sams@cahs-bc.ca

Boumy Sayavong	boumy.sayavong@dfo-mpo.gc.ca
Idar Schei	idar.schei@aquaoptima.com
Mark Shepherd	mark.sheppard@gov.bc.ca
Dan Stechey	stechey@cogeco.ca
Steven Summerfelt	s.summerfelt@freshwaterinstitute.org
Trevor Swerdfager	Trevor.Swerdfager@dfo-mpo.gc.ca
Michael Szemerda	mszemerda@cookeaqua.com
Andrew Thomson	ThomsonAn@pac.dfo-mpo.gc.ca
Helgi Thorarensen	helgi@holar.is
Mary Ellen Walling	mwalling@telus.net
John Werring	jwerring@davidsuzuki.org
Jillian Westcott	Jwestcott@upei.ca